

ARQUIT
E 54e
1991
21

S
Alqui
E 54e
1991
C

29 ABR 2004

Morc 7690



TEMA DE ARQUITECTURA
ESTUDIO ACÚSTICO EN SALAS DE AUDICIÓN

PROF. GUÍA
LUIS BRAVO H.

ALUMNA *Atenciones*
LORENA EMMER R. *ojas*

1991 ?

INDICE

INTRODUCCIÓN

pág.

1

I. ANTECEDENTES.

1. NOCIONES ELEMENTALES.

3

1.1. DEFINICIONES

1.2. ELEMENTOS Y PROPIEDADES DEL SONIDO.

1.2.1. Elementos

1.2.2. Propiedades.

1.3. PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

4

1.3.1. Fenómenos de la propagación del sonido.

1.4. RANGO AUDIBLE.

5

1.5. DEFECTOS ACÚSTICOS.

6

2. REVERBERACIÓN.

7

2.1. DEFINICIÓN

2.2. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN.

8

2.2.1. Definición.

3. LOS LOCALES DE AUDICIÓN.

9

3.1. INFLUENCIA DEL AFORO EN LA CALIDAD ACÚSTICA DEL LOCAL.

3.2. FACTORES GENERALES A CONSIDERAR EN UN LOCAL.

10

3.3. FACTORES A CONSIDERAR EN LOCALES TIPO.

15

3.3.1. locales para la audición de la voz.

3.3.2. locales para audiciones musicales.

16

4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN.

4.1. ENSAYOS DE INTELIGIBILIDAD.

19

4.2. ACÚSTICA GRÁFICA.

20

4.2.1. Análisis por medio de rayos.

4.2.2. Determinación gráfica del eco.

22

4.2.3. Equipotencialidad sonora. 1º. método de Lyon

23

2º. Método de las reflexiones sucesivas.

24

5. MATERIALES ABSORBENTES.	25
5.1. TIPOS DE MATERIALES.	
5.1.1. Materiales porosos.	
5.1.2. Resonadores.	26
5.1.3. Materiales reflexivos. (Membranas)	27
5.1.4. Procedimientos combinados.	28
6. SUPERFICIES CON COEFICIENTES DE ABSORCIÓN VARIABLE.	
6.1. ELEMENTOS ROTATIVOS	30
6.2. LÁMINAS DE INCLINACIÓN VARIABLE.	
6.3. PANELES ABATIBLES	31
6.4. CORTINAS	
6.5. PANELES DE RESONANCIA VARIABLE.	

II. ESTUDIO ACÚSTICO.

1. PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE 4 CASOS.	34
1.1. CASO 1 : CENTRO DE EVENTOS U.C.V.	
1.1.1. Ensayos de inteligibilidad	35
1.1.2. Acústica gráfica.	
1.1.2.1. gráfica de las reflexiones	36
1.1.2.2. gráfica existencia de ecos.	37
1.1.3. Cálculo condiciones de absorción.	38
1.1.4. Comparación reverberación y curva tonal, existente y óptimas.	39
1.2. CASO 2 : TEATRO VICTORIA.	40
1.2.1. Ensayos de inteligibilidad.	41
1.2.2. Acústica gráfica.	
1.2.2.1. gráfica de las reflexiones.	42
1.2.2.2. gráfica existencia de ecos.	43
1.2.3. Cálculo condiciones de absorción.	44
1.2.4. Comparación reverberación y curva tonal, existente y óptimas.	45

1.3. CASO 3 : TEATRO EL FAROL	46
1.3.1. Ensayos de inteligibilidad	47
1.3.2. Acústica gráfica	
1.3.2.1. gráfica de las reflexiones	48
1.3.2.2. gráfica existencia de ecos.	49
1.3.3. Cálculo condiciones de absorción	50
1.3.4. Comparación reverberación y curva tonal, existente y óptimas.	51
1.4. CASO 4 : TEATRO MAURI.	52
1.4.1. Ensayos de inteligibilidad	54
1.4.2. Acústica gráfica	
1.4.2.1. gráfica de las reflexiones	55
1.4.2.2. gráfica existencia de ecos.	57
1.4.3. Cálculo condiciones de absorción.	58
1.4.4. Comparación reverberación y curva tonal, existente y óptimas.	59
2. CONCLUSIONES DE LOS 4 CASOS EXISTENTES.	60
3. PROPOSICIÓN : ELECCIÓN DE UN CASO PARA LA CORRECCIÓN ACÚSTICA.	62
4. DISEÑO DE SOLUCIONES.	
4.1. MÉTODO DE LYON.	
4.1.1. En Corte	63
4.1.2. En Planta	65
4.2. MÉTODO DE LAS REFLEXIONES SUCEсивAS.	
4.2.1. En Corte	67
4.2.2. En Planta	68
5. CORRECCIÓN ACÚSTICA.	
5.1. ESPECIFICACIÓN DE LAS CORRECCIONES.	69
5.1.1. Distribución de las correcciones.	71
5.2. DETALLES	73
5.3. CÁLCULO ABSORCIÓN Y REVERBERACIÓN OBTENIDAS.	
5.3.1. Para música de cámara.	74
5.3.2. Para la palabra.	75
5.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, OBTENIDAS Y ÓPTIMAS.	76
BIBLIOGRAFÍA.	77

INTRODUCCIÓN

Para la debida producción de eventos culturales o artísticos, en una sala de audición, se hace imprescindible que ésta cuente con un buen acondicionamiento acústico. Característica que transforma la sala en un instrumento para la difusión del sonido.

El tema surge, frente a la carencia de este acondicionamiento en las salas existentes en Valparaíso y a la utilización de las mismas tanto para la música como para la palabra. No cumpliendo, por lo tanto, para ninguno de los 2 tipos de eventos y restándole por esto, calidad a los mismos. Sumado esto a una inquietud personal por la necesidad de espacios para la expresión cultural y artística de la región.

Y, por otro lado, con el fin de difundir la preocupación que la problemática acústica merece.

Introduciendo: métodos de evaluación acústica que no requieren de instrumentos sofisticados, ni de cálculos complicados, sino de un simple desarrollo geométrico como es la acústica gráfica; y métodos empíricos como los ensayos de inteligibilidad. Los cuales tienen la ventaja de ser prácticos, de fácil manejo y aprendizaje.

Y formas de utilización de los materiales para la conexión acústica.

Para, después de un análisis de 4 casos existentes en Valparaíso, obtener una conexión que asegure una buena propagación del sonido, en una sala para eventos múltiples, que exija la conjugación entre cualidades acústicas necesarias para la música (de cámara, o grupos), como, para la palabra (teatro, conferencias, etc.) Pensando en que las salas, en la realidad, son usadas, generalmente para todo tipo de eventos. No hay usos específicos.

En fin, el estudio pretende mostrar un modo de evaluación y conexión del problema acústico.

I. ANTECEDENTES.

1. NOCIONES ELEMENTALES.

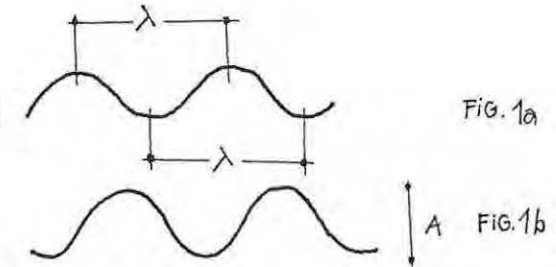
1.1. DEFINICIONES.

- ACÚSTICA : "llamase así la parte de la FÍSICA que tiene por objeto el estudio del sonido y los fenómenos de su propagación y producción." <1>
- SONIDO : "es el efecto provocado en nuestros oídos por las vibraciones de un cuerpo sonoro." <1>
- VIBRACIONES : movimiento periódico, rápido e isócrono de los cuerpos elásticos cuyas moléculas han sido puestas en acción por el roce, por la percusión u otras causas. <1>
- PLANO DE AUDICIÓN : es el plano horizontal que pasa por los oídos del público.

1.2. ELEMENTOS Y PROPIEDADES DEL SONIDO.

1.2.1. ELEMENTOS DEL SONIDO.

- LONGITUD DE ONDA : distancia entre dos puntos que se encuentran en un mismo período de la oscilación. (fig.1a)
(λ)
- AMPLITUD DE ONDA : es la distancia máxima entre dos puntos de la onda perpendicularmente al sentido de su propagación. (fig.1b)
(A)
- FRECUENCIA : es el número de vibraciones por segundo. Se mide en HERTZ (Hz). 1Hz = 1vibración por seg.
La más baja frecuencia captada por el hombre es 16 Hz.
La más alta frecuencia captada por el hombre es 20.000 Hz.



- VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN: es el camino recorrido por una onda sonora en una unidad de tiempo. La velocidad de propagación del sonido depende de la densidad del medio transmisor. (La densidad del aire varía según la temperatura). Por lo tanto, la velocidad del sonido en el aire variará también de acuerdo a la t . En general se utiliza para cálculos un promedio de 340 m/seg.

1.2.2. PROPIEDADES DEL SONIDO.

- INTENSIDAD: cualidad del sonido que permite distinguir uno fuerte de uno débil. Depende de la amplitud de las vibraciones; a mayor amplitud, mayor intensidad, y viceversa.
- ALTURA O TONO: es la cualidad que permite distinguir un sonido grave de uno agudo y viceversa. Depende del número de vibraciones por segundo o frecuencia. Cuanto más agudo mayor frecuencia y cuanto más bajo, o grave, menor frecuencia.
- TIMBRE: es la cualidad que permite distinguir dos sonidos de la misma altura o tono, pero que provienen de instrumentos diferentes, voces diferentes, etc.

1.3. PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

El origen de una onda sonora está en la vibración que se produce al existir un medio (sólido, líquido o gas) cuyas moléculas abandonan su posición de reposo y al chocar con las más próximas, son rechazadas a su vez por estas hasta más allá de su posición inicial, volviendo después a ella, es decir, efectuando una oscilación. El movimiento de las partículas se produce en el mismo sentido que la propagación. Por lo tanto son ondas longitudinales.

Así, el sonido es percibido cuando las ondas longitudinales, que se propagan en todas direcciones impresionan el oído y este transmite al cerebro la sensación sonora.

1.3.1. FENOMENOS DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO

- REFLEXIÓN: se produce cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo reflejándose en su superficie.
Este fenómeno da origen a la reverberación y a defectos acústicos como el eco, los focos sonoros (reflejados sobre superficies cóncavas), la dispersión (reflejados sobre superficies convexas). (fig. 2)
- REFRACCIÓN: se produce cuando la onda sonora cambia de dirección al pasar de un medio a otro, y esto ocurre por la variación de densidad y por ende de velocidad en el nuevo medio.
- DIFRACCIÓN: es la capacidad de las ondas sonoras de rodear un obstáculo o propagarse por un ambiente a través de una abertura.
- ABSORCIÓN: es la parte del sonido que no es reflejado ni transmitido sino que se disipa en la propia superficie en que fuere a chocar, convirtiéndose en energía calórica. (fig. 2)

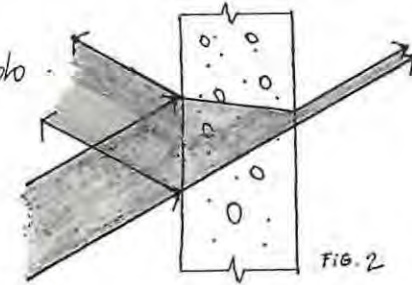


FIG. 2

1.4. RANGO AUDIBLE DEL SONIDO (OIDO HUMANO).

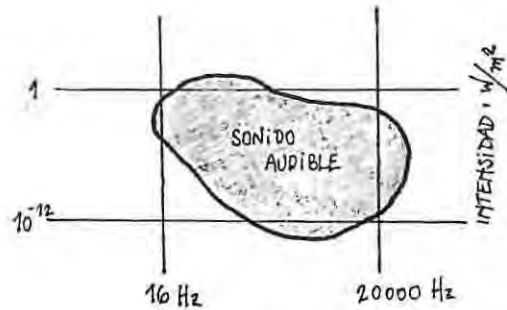


FIG. 3

En el gráfico se muestra los rangos audibles en frecuencia, que es de 16 a 20000 Hz, y en intensidad que son entre "1", o "umbral del dolor", y 10^{-12} W/m². ("PICOWATT").

1.5. DEFECTOS ACÚSTICOS. <5>

- FOCOS SONOROS : es un defecto de distribución del sonido en el local, que por su forma, generalmente curva, concentra el sonido en determinados puntos.
- RESONANCIA : es la propiedad que tienen determinados cuerpos de vibrar espontáneamente en concordancia con los sonidos emitidos por una voz o instrumento, generalmente cuerpos metálicos. (Se puede evitar cubriendo los cuerpos metálicos con papel maché).
- INTERFERENCIA : se llama así a la mezcla de dos sonidos, de igual número de vibraciones y amplitud, que se podría dar entre la onda producida por la fuente y la reflejada por la pared, provocando un aumento notorio de la intensidad del sonido. (se soluciona evitando las reflexiones hacia la fuente emisora).
- ECO : se produce "cuando entre la llegada de la onda directa y la de la primera reflejada (o entre dos reflejadas consecutivas) media un intervalo de $1/10$ seg. o más para sonidos musicales y $1/15$ seg. para sonidos secos (palabra) ya que a partir de estos tiempos, el oído humano logra captarlos como si de dos sonidos se tratara. Es esencial para la buena audición en un local que el auditorio no pueda notar ecos, es decir el plano de audición debe estar libre de este fenómeno.

2. REVERBERACIÓN

2.1. DEFINICIÓN

Es el tiempo que tarda un sonido, después de ser emitido, en decrecer su intensidad, a través de las reflexiones, a los 60 decibelios en un local cerrado.

El tiempo de reverberación adecuado varía en función de las condiciones del local, lo que se verá más adelante detalladamente con los locales tipo, y también varía en función de las distintas frecuencias.

Encontrando los tiempos de reverberación para cada frecuencia, siendo las principales 120 Hz, 256 Hz, 512 Hz, 1024 Hz, 2048 Hz, 4096 Hz, se conocerá la curva tonal* del local. Y si conocemos la curva tonal adecuada para determinado tipo de local podemos adaptar el diseño y los materiales para obtener en la práctica los tiempos de reverberación para las distintas frecuencias que conforman dicha curva.

Ahora bien la Fig. 3 muestra como la sensibilidad del oído humano es inferior para bajas frecuencias, y mayor para las altas. y por lo tanto para que la sensación sonora sea constante, se deberá aumentar la intensidad de los sonidos graves. En un local este aumento de intensidad puede obtenerse si se logra que los sonidos graves se reflejen más que los agudos. Por lo tanto, el tiempo de reverberación deberá ser mayor para los sonidos graves que para los agudos. Por otra parte, se ha comprobado que el tiempo de reverberación óptimo, viene determinado por el volumen del local y su destino. Así, un local grande requiere mayor tiempo de reverberación que uno pequeño, y un local para audiciones musicales debe ser más reverberante que uno para la palabra.

A través de la elección de los materiales y la posibilidad de ajustar la absorción de algunos elementos para determinadas frecuencias se podrá conseguir la curva tonal prefijada.

* CURVA TONAL: "gráfica representativa de la reverberación que posee un local para las distintas frecuencias".
COMPENDIO PRACTICO DE ACÚSTICA - J. PEREZ MIÑANA.

2.2. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN

2.2.1. DEFINICIÓN

Es un factor que expresa la absorción de la energía sonora por un material determinado. Es la relación entre la energía acústica absorbida y la energía acústica incidente.

Así pues, una pared lisa, dura y pesada es muy reflectora, su factor de absorción acústica tendrá un valor aproximado a cero. En cambio, una ventana abierta absorbe la energía sonora y el factor de absorción es 1.

Un material determinado no absorbe de la misma manera los sonidos graves que los sonidos agudos. Por lo tanto, es necesario considerar el coeficiente de absorción para las distintas frecuencias. En general, se mide en las frecuencias medias: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz.

En una sala la superficie de absorción, es la suma de las superficies por sus correspondientes coeficientes de absorción para determinada frecuencia.

según SABINE $A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 \dots$

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

A = Absorción

S = superficie del material

α = coeficiente de absorción del material.

2.3. CÁLCULO REVERBERACIÓN EXISTENTE

Para el cálculo de la reverberación existente de un local, se calcula la absorción del local, usando la fórmula de SABINE, para cada frecuencia y luego por medio de la fórmula:

$$T = \frac{0.16 \times V}{A}$$

donde T = tiempo de reverberación

V = volumen del local

A = absorción

Conocido el tiempo de reverberación, para cada frecuencia, conocemos, graficando estas cifras, la curva tonal existente.

2.4. PREFIJACIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Para fijar el tiempo de reverberación, se debe recurrir a los gráficos que aparecen en el capítulo 3, punto 3.3. para cada tipo de local, que entregan, según el volumen del local y para los 512 Hz, el tiempo de reverberación adecuado. Con este tiempo, multiplicando por el factor "f" que corresponda y que veremos más adelante, obtenemos el tiempo de reverberación para cada frecuencia y por ende la curva tonal óptima.

3. LOS LOCALES DE AUDICIÓN.

3.1. INFLUENCIA DEL AFORO EN LA CALIDAD ACÚSTICA DEL LOCAL.

Es necesario para el estudio de la calidad acústica de un local, clarificar el número de personas existentes a suponer, para calcular la absorción que aportan. En relación al tipo de butacas puede haber grandes diferencias entre la sala vacía y la sala llena.

generalmente, se acepta el supuesto de que, con la asistencia de la mitad del aforo, se obtendrá un resultado próximo al del local lleno. Pero, esto no es siempre correcto y dependerá de los siguientes factores:

- a. VOLUMEN DEL LOCAL POR PLAZA: El porcentaje de influencia de las unidades de absorción, de una cantidad de público determinado, depende del volumen del local. Si el volumen crece, y se mantiene el número de público la influencia de este será menor. Por lo tanto, si el volumen del local por plaza (vol/plaza) es muy grande, la asistencia o ausencia de público incidirá menos sobre la reverberación del local y será menos importante su capacidad absorbente. Más adelante se verá según el tipo de local, cual es el volumen por plaza aconsejable.
- b. TIPO DE BUTACAS: Existe una gran diferencia entre la absorción que produce una butaca de madera, una metálica y una tapizada. La diferencia, entre una butaca tapizada ocupada y una tapizada sin ocupar, es mínima. Pero esta diferencia, en una butaca de madera, es mucho más grande. Por lo tanto, si se usan butacas tapizadas las fluctuaciones entre una sala vacía o llena no serán importantes.
- c. CAPACIDAD DEL LOCAL: Cuanto mayor sea el aforo de una sala, mayor será la diferencia entre la mitad del público y su totalidad (de lleno o vacío). Por esta razón en los locales muy grandes se aumenta el volumen por plaza y se usan butacas tapizadas. Ambas medidas para hacer menos acusada la diferencia de asistencia.

d. USO SIMULTANEO DEL LOCAL: Es muy frecuente que en un mismo local se realicen eventos que requieren tiempos de reverberación muy distintos, en ciertos casos muy marcados. Por lo que, tanto la variabilidad de la asistencia y la posible simultaneidad de destinos de un local, hacen necesario conseguir recintos que puedan variar su tiempo de reverberación según se desee. Una solución será utilizar superficies cuyo coeficiente de absorción sea modificable. (ver capítulo 6).

3.2. FACTORES GENERALES A CONSIDERAR EN UN LOCAL.

Aun cuando cada caso presenta sus propias particularidades, es posible establecer un método para el estudio acústico de un local. y para ello existen los siguientes factores a considerar:

a. USO DEL LOCAL : Este dato condicionará el estudio acústico del local. Es importante considerar el número y variedad de las fuentes sonoras que pudieran intervenir, su situación en el recinto y si son fijos o móviles. El tiempo de reverberación deseable, las condiciones geométricas y físicas del local dependen en gran medida de este factor.

b. VOLUMEN : Es fundamental el tamaño, proporciones y forma de un recinto para una buena acústica. El volumen por plaza es un factor que merece especial atención y depende del uso del local y de su tamaño, como tanto inicial se puede usar el gráfico de la fig. 4 que indica en función del número de espectadores y destino del local, el volumen por plaza deseable.

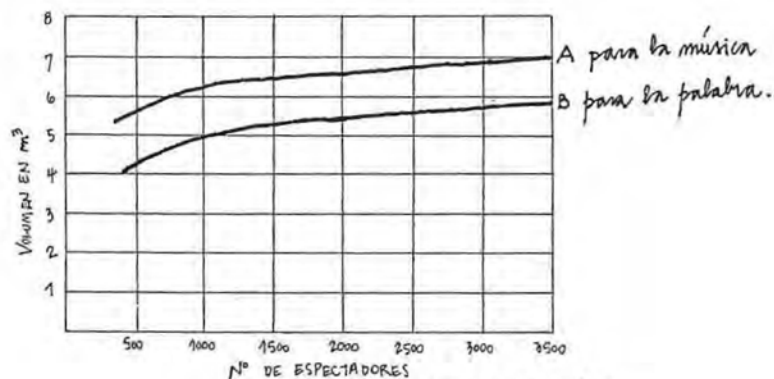


FIG. 4 VOLUMEN POR PLAZA MÁXIMO

C. CONDICIONES GEOMETRICAS : La forma del local permite :

- Reforzar el sonido para que llegue a las filas más alejadas.
- Mejorar la difusión del sonido.
- Obtener una reverberación homogénea en toda la sala.
- Suprimir defectos (ecos, interferencias, etc.)
- Conciliar el máximo aprovechamiento del local con las necesidades de visión.

A través de la Acústica gráfica es posible estudiar la configuración del local y obtener los ventajas señaladas.

d. CONDICIONES FISICAS :

De estas depende la conservación del timbre o armonía originaria de la onda sonora, después de las sucesivas reflexiones. La conservación del timbre es fundamental, sobre todo en las audiciones musicales y totalmente contrario al uso de materiales selectivos como son los fuertemente absorbentes.

La madera es un muy buen revestimiento que permite obtener locales de excelente sonoridad. Puesto que, además de no distorsionar el timbre, mejora la difusión.

Para no distorsionar el timbre es necesario usar materiales poco absorbentes, ya que con el doble de superficie de un material, mitad absorbente, se logra menos deformación del timbre. Y materiales poco selectivos, aquellos que tienen mucha selectividad producen mayor distorsión. Por lo que es más recomendable un material cuya curva gráfica de absorción sea horizontal.

Se debe tener en cuenta que el uso de absorbentes equivale a la atenuación de la energía sonora, es decir, niega el aprovechamiento del flujo sonoro, intensidad sonora, equipotencialidad, riqueza de matices y conservación del timbre. Es decir el uso de materiales acústicos debe ser cuidadosamente estudiado, no se deben usar a destajo porque producen efectos negativos.

e. TIEMPO DE REVERBERACIÓN : La obtención de los tiempos óptimos de reverberación revela :

- El tiempo óptimo de reverberación para la palabra es menor que para la música.
 - Los distintos tipos de música requieren distintos tiempos de reverberación.
 - El tiempo de reverberación debe variar con la frecuencia, será menor en los agudos que en los graves.
 - El tiempo de reverberación óptimo crece con el volumen del local.
- Una vez hecho el estudio gráfico del local, este fijará las condiciones absorbentes o especulares de determinadas superficies, y las que son convenientes o

inconvenientes. Además, la consideración de elementos como el público, las alfombras, las butacas, cortinajes, etc. con su determinada absorción, y la disponibilidad de superficies y su situación orientará sobre qué tipos de materiales usar.

El aumento del tiempo de reverberación para las bajas frecuencias que generalmente requieren los locales es favorable, puesto que los materiales, generalmente, presentan un menor coeficiente de absorción para las bajas frecuencias.

f. RELACIONES ENTRE LAS DIMENSIONES: Se puede establecer ciertas premisas para orientar en las proporciones y configuración del local. Suponiendo el local paralelepípedo o inscrito en un paralelepípedo, las proporciones ideales son $5 \times 3 \times 2$

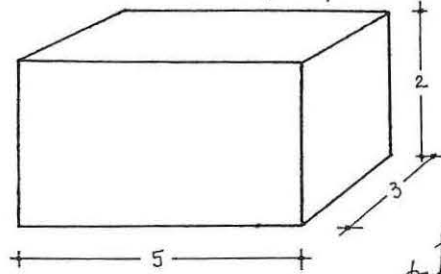


FIG. 5

(Fig. 5) que suponen una buena distribución de las frecuencias, siendo este un factor fundamental para la uniformidad del nivel sonoro. Puesto que un recinto condicionará, por su forma y dimensiones, al aire que comprende a que presente unas frecuencias propias de vibración, lo cual puede llevar a la producción de fenómenos como RESONANCIA, FOCOS SONOROS U ONDAS ESTACIONARIAS, "Bolt" ha determinado las proporciones anteriores.

Como condiciones generales para el suelo, techo y paredes se pueden sugerir:

• SUELO: El público supone un alto grado de absorción que atenúa el sonido y no permite su natural llegada a la fila posterior. Para ello se debe otorgar al suelo una inclinación gradual a partir del escenario, de este modo todo el público recibe el sonido en forma directa. La parte próxima al escenario debe ser horizontal y su extensión quedará definida trazando desde la fuente sonora, y a partir de la vertical un ángulo de 45° .

La pendiente del resto del suelo quedará fijada por la separación entre filas (separación mínima aceptable es de 0.85m) y la distancia al foco sonoro. Se parte de las necesidades de visión, y gráficamente se halla trazando visuales que parten de cada espectador al punto más bajo a observar, con un descenso entre dos visuales sucesivas de 7 a 10 cm. (Fig. 6)

Con esto se obtiene una gradual elevación, lo que se confunde con las necesidades acústicas.

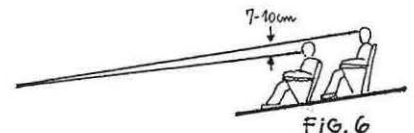


FIG. 6

Respecto al pavimento de los pasillos se debe cuidar, además de sus cualidades absorbentes, que proporcione un andar silencioso.

- **CIELO**: El cielo acústico puede adquirir formas, en su perfil que permiten obtener el trazado de planos para la reflexión direccional del sonido. Las reflexiones que provienen del cielo se distribuyen con mayor uniformidad sobre el público que si se han realizado sobre las paredes, ya que las primeras son reflexiones directas que no están afectadas por la atenuación que produce el público en las reflexiones laterales, y además deben recorrer la misma distancia para llegar a cualquier espectador de una misma fila. En salas pequeñas, en que el suelo es paralelo al cielo, se puede producir el **ECO PULSATORIO*** Cuestión que es posible solucionar con un sobresuelo de madera escalonada o en pendiente.

• **PAREDES**: Hay tres tipos de paredes:

- **Paredes de fondo**: Se deben cubrir con materiales muy absorbentes, puesto que la reflexión en ellas son negativas por su máxima separación con el foco sonoro, y si es posible además desplomarse ligeramente. No es recomendable curvar estas paredes.
- **Pared tras la fuente sonora**: La reflexión en ella y en las laterales (de la escena) es positiva por la poca distancia con el foco sonoro, puesto que hace llegar el sonido a todo el ámbito.
- **Paredes laterales**: Es muy importante que no sean paralelas, es óptima la forma trapezoidal que se produce con una divergencia de estas paredes hacia el fondo. Ya que:
 - Suprime interferencias, ondas estacionarias, frecuencias propias y el eco pulsatorio.
 - Mejora la distribución y difusión del foco sonoro. El sonido se dirige convenientemente.
 - Aproxima el público al escenario, reduciéndose las distancias a recorrer por el sonido para llegar a las últimas filas.
 - No quedan espacios vacíos cercanos a la escena reduciéndose el volumen por plaza.
 - Aumenta la capacidad del anfiteatro, en caso de que lo halla.

* **ECO PULSATORIO**: sucesión de ecos sumamente próximos pero distintos, que siguen la emisión de un sonido transitorio. Producto de la reflexión sobre 2 superficies paralelas y de bajo coeficiente de absorción.

g. TAMAÑO DEL LOCAL: Cuanto mayor el volumen de un local, mayor la complicación del estudio acústico. Un local de 1500 m^3 se puede considerar como el límite para que sea catalogado como de simplificada solución, es decir, es posible solucionar sus problemas de manera algo empírica, teniendo en cuenta una serie de medidas fácilmente presumibles por los conceptos ya expuestos. Pero aún siendo pequeños pueden producirse en ellos zonas de ecos que deben ser corregidas, y requieren de un determinado tiempo de reverberación que debe ser resuelto.

En cuanto a las necesidades megafónicas o electroacústicas, para reforzar la audición directa requieren de un estudio especial que no incluiremos. Pero en todo caso, los locales de volumen inferior a 1500 m^3 no requieren instalaciones electroacústicas, puesto que a 22 m . de distancia máxima, la audición tendrá, aún, suficiente intensidad.

h. AISLAMIENTO: Es imprescindible, para todo local, encontrarse libre de ruidos o vibraciones del exterior, para obtener las condiciones de silencio que requiere y para evitar enmas, caramiento, sobre los sonidos en el emitidos, que anulen las buenas condiciones acústicas que posee el local.

Puesto que hoy en día, los materiales utilizados en construcción, no aportan en este sentido (pues son cada vez más livianos) y por otro lado la ciudad es cada vez más ruidosa. Por cuanto se hace más necesaria la solución de este problema. Es posible hacer un aporte en este sentido usando absorbentes en los pasillos y vestíbulos que separan a la sala del exterior. Esta medida permite que el ruido que llega a estos recintos sea atenuado por la absorción y entre, entonces, al local con menos intensidad.

i. RUIDOS PROPIOS: No basta aislar un local de los ruidos exteriores, sino también, se debe eliminar los sonidos no deseables que producen las instalaciones propias, como climatización, máquinas de proyección, instalaciones sanitarias, etc.

3.3. FACTORES A CONSIDERAR EN LOCALES TIPO.

3.3.1. LOCALES PARA LA AUDICIÓN DE LA PALABRA.

Para la inteligibilidad de la palabra, las frecuencias primordiales se encuentran entre 500 a 3000 Hz, siendo la fundamental los 1000 Hz.

Por otra parte, la inteligibilidad de las palabras no es independiente de la intensidad con que se escuchan. Hasta los 70 db* la inteligibilidad crece con la intensidad, bajo los 60 db la inteligibilidad decrece rápidamente. Por lo tanto, alcanzar un nivel sonoro de audición próximo a los 70 db favorecerá la inteligibilidad.

El porcentaje de inteligibilidad de un local, obtenido en los ENSAYOS DE INTELIGIBILIDAD, sirve para clasificar el estado acústico de la sala.

La reverberación aumenta la intensidad de la palabra, pero, por otra parte dificulta la comprensión de las palabras por su efecto de enmascaramiento, lo que disminuye la inteligibilidad, por lo que el tiempo de reverberación debe ser muy corto.

a. SALAS DE CONFERENCIAS.

Además de lo expuesto se deben considerar los siguientes conceptos como características específicas:

1º La poca intensidad de la palabra requiere ser reforzada por reflexiones adecuadas, para ello es útil la aplicación de acústica gráfica.

2º El gráfico de la figura 7. nos da el tiempo de reverberación para los 512 Hz, multiplicando por los coeficientes "f" para cada frecuencia, se fijará la "curva tonal" deseada en el local.

para 128 Hz	f = 1.3
256 Hz	f = 1.15
512 Hz	f = 1.00
1024 Hz	f = 0.9
2048 Hz	f = 0.9
4096 Hz	f = 0.9

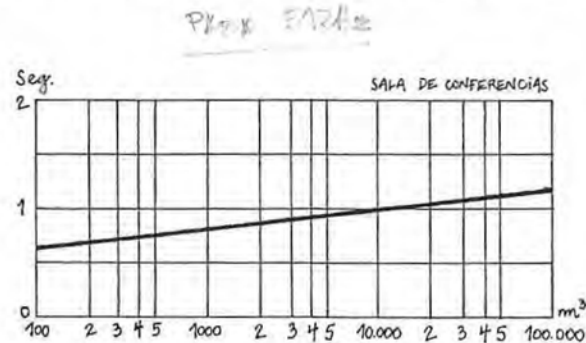


FIG. 7 GRAFICA DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN ADECUADA PARA LA PALABRA, PARA LOS 512 Hz.

* decibeles: medida de intensidad de un sonido.

3º El volumen por plaza más conveniente es de 3.50 a 4 m³.

4º El nivel de ruidos no debe sobrepasar los 40 db. con la sala llena.

b. TEATRO DE PROSA.

El teatro de prosa plantea una mayor exigencia acústica, por tratarse de una representación en que sus actores se mueven y las superficies posteriores, de la escena, son los decorados. Además de una buena inteligibilidad es necesaria la conservación del timbre.

Por otro lado, el teatro siendo un espectáculo, requiere una integración del público a la escena.

En teatros pequeños de hasta 500 espectadores, las condiciones de reverberación serán las mismas que para una sala de conferencias. En teatros mayores, además de considerar la absorción del aire, se deberá aumentar su valor.

3.3.2. LOCALES PARA AUDICIONES MUSICALES.

a. SALAS DE CONCIERTOS

Es una gran responsabilidad, el permitir una correcta ejecución de una obra de arte que se esculpe en el aire. Para ello debemos intentar sistematizar las características acústicas de la producción musical, y reducirlas a una concepción física necesaria para el cálculo siendo múltiples las circunstancias que influyen:

Nº de ejecutantes: un solista, una gran orquesta, un conjunto orquestal y coral presentan infinitas variantes. Los recitales y música de cámara pueden constituir grupos de uno a diez ejecutantes.

Las orquestas de cámara son de 10 a 40 músicos.

En los conciertos sinfónicos la orquesta sobrepasa los 100 músicos.

Las masas corales cuentan, normalmente con más de 100 personas. y existen otros muchos modos de constituir agrupaciones músico-vocales.

Clases de instrumentos: Los instrumentos presentan características muy distintas unos de otros. Al igual las voces que componen un coro presentan características distintas que requieren la intervención de recursos desiguales en función de su comportamiento.

El compositor: Siendo el local, una prolongación del aparato instrumental, sus cualidades no pueden ser independientes de las excitaciones que recibe. Por lo que debe responder a las grandes diferencias que existen entre unos estilos musicales y otros. Así pues, las cantatas de Bach, las sinfonías de Haydn y Mozart, los nocturnos de Chopin, requieren ser oídos con nitidez, lo cual

implica un corto tiempo de reverberación. Al contrario, las producciones de Liszt, Wagner, Berlioz, Stravinsky, sacudidas por grandes exaltaciones dramáticas, requieren un ambiente reverberante que contribuya a conseguir una riqueza sonora.

En las masas corales considerando cada voz como un instrumento distinto, su necesidad de reverberación será mayor. Por el contrario, la ópera, diálogo cantado, requiere un local cuyo tiempo de reverberación se aproxime al de un teatro.

Los efectos sincopados necesitan que su tiempo de reverberación sea corto.

Subjetividad del auditorio: La apreciación del oyente, respecto de las cualidades de una sala, es totalmente subjetiva puesto que en ella interviene la sensibilidad, preferencias, educación musical y hasta el estado de ánimo del oyente.

El equilibrio sonoro en la composición orquestal: Es fundamental la homogeneidad del flujo sonoro resultante, puesto que un defecto en este sentido desvirtuaría la composición musical. Por lo que se debe proporcionar en forma correcta la energía sonora, partiendo de la base que en la orquesta se inicia la acústica de la sala. Para esto, se debe cuidar la ubicación de cada instrumento de modo que logre proyectarse y que no se perjudiquen entre sí.

La conservación del timbre: Es primordial esta conservación, en las salas de concierto, puesto que el timbre es la característica del instrumento y su variación desvirtúa la composición musical.

Para esto, es recomendable reducir al mínimo los materiales absorbentes por su tendencia selectiva (ya hemos mencionado que los revestimientos de madera son los más adecuados). En definitiva, los absorbentes a usar deberán poseer una gráfica de absorción lo más horizontal posible.

Tiempo de reverberación: Ya hemos visto que la reverberación debe variar según la clase de música. El gráfico de la fig. 8 determina los tiempos de reverberación óptimos para cada tipo de música, según su volumen y para los 512 Hz.

El valor del factor "f" será:

para 128 Hz	f = 1.15	} BAJAS FRECUENCIAS
256 Hz	f = 1.1	
512 Hz	f = 1	
1024 Hz	f = 0.9	
2048 Hz	f = 0.9	
4096 Hz	f = 0.9	

se ha reducido el valor de f en las bajas frecuencias respondiendo a la conveniencia de obtener una curva tonal casi plana para las salas de concierto.

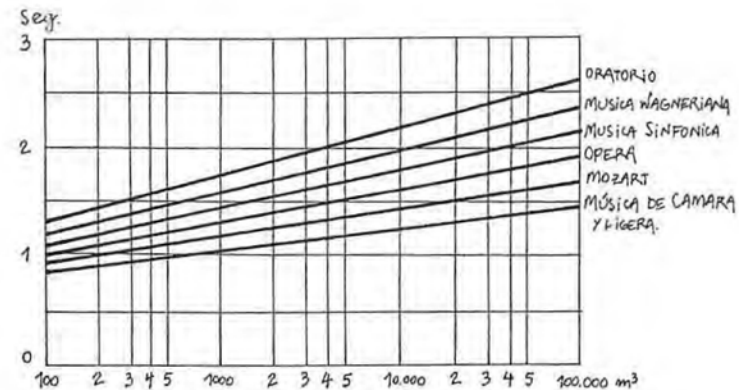


FIG. 8 GRÁFICA DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN ADECUADO PARA LA MÚSICA, PARA 512 Hz.

Capacidad de la sala: La capacidad y dimensiones de la sala dependen de la energía sonora desarrollada por los ejecutantes. La siguiente tabla de la fig. 9 establece una clasificación de los tipos de sala según el número de ejecutantes y los aforos correspondientes. Aproximadamente se calculan 20 a 25 plazas por ejecutante.

Nº DE EJECUTANTES	TIPO DE SALA	AFORO
HASTA 10	SALA PEQUEÑA	HASTA 200
DE 10 A 40	SALA MEDIA	HASTA 900
DE 60 A 100	SALA CORRIENTE	HASTA 1700
GRAN ORQUESTA Y CORO	GRAN SALA	HASTA 2000 Y MAS

FIG. 9

4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN.

4.1. ENSAYOS DE INTELIGIBILIDAD.

Los ensayos de inteligibilidad, o articulación, reflejan cuantitativamente las condiciones acústicas de una sala para la palabra.

Estos ensayos consisten en la pronunciación de una serie de monosílabos (logatomos) representativos del idioma, siendo registrada la comprensión de los mismos por parte de los oyentes; el porcentaje comprendido manifiesta el grado de aceptación que el local posee.

Para que los monosílabos sean representativos del idioma en el conjunto de ellos deben utilizarse las distintas letras del alfabeto en la misma proporción en que se usan convenientemente.

La siguiente lista cumple con estas necesidades:

res	na	la	quia	cen	sel	soir	cat	car	ted
die	dot	de	fec	be	sar	od	ce	met	sai
sap	co	sol	hoc	noe	mou	ma	pac	at	al
na	map	quo	ya	lor	dian	zat	yot	con	roi
cop	jol	me	leu	seir	ba	ren	chai	ria	nie
dior	to	cies	nos	no	pol	mal	sen	que	ep
fem	pe	loi	ras	fam	cat	tau	eir	es	les
rei	ser	mai	quei	get	teu	rios	cem	oip	eu
son	dog	rel	ham	au	la	nos	lied	riás	je
lan	dac	ga	pa	tai	sau	der	reu	tel	ren

Están formados en grupos de diez, después de leer cada grupo, debe ir precedida una frase que establezca el régimen normal del nivel sonoro. Estas diez frases pueden ser: "por favor, escuchen"; "presten atención"; "y seguidamente"; "escuchen a continuación"; "las siguientes son"; "se ruega atención"; "escuchen atentamente"; "y de nuevo oír"; "y siguiendo el ensayo"; "el último grupo es".

Luego, el porcentaje comprendido representará la inteligibilidad del ensayo. Es conveniente repetir el ensayo cambiando al lector, y notar la ubicación de los oyentes. También en cada ensayo se cambiará el orden de lectura de los grupos e incluso el orden de los logatomos dentro de cada grupo, impidiendo con esto que la retención ayude a la comprensión.

Los observadores se deben ubicar como lo señala la fig. 10. La lista debe ser leída por cada observador, que hará las veces de lector. Cada vez que un observador lea la lista, los demás cambiarán su posición de modo que al final cada uno habrá ocupado todas las posiciones.

La media aritmética de los porcentajes proporcionará en cada caso el porcentaje de inteligibilidad que servirá para calificar el grado de corrección acústica de la sala:

Inteligibilidad del	90%	Muy Buena
"	85%	Satisfactoria
"	70%	Regular
"	65%	Mala
"	inferior al 65%	Inaceptable.

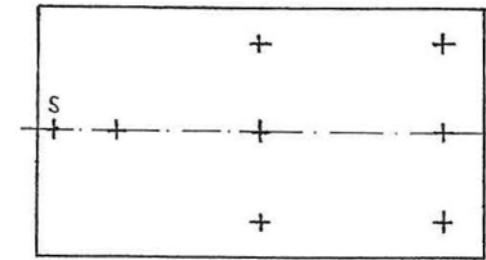


FIG. 10

4.2. ACÚSTICA GRÁFICA (B)

El método de análisis gráfico viene a completar el estudio acústico para lograr la resolución del problema. Ya que esta dependerá del análisis gráfico y de los principios teóricos.

Este análisis gráfico permitirá detectar la posible existencia de ecos y zonas de silencio. Permitirá, además, disponer la geometría de la sala para que exista un reparto regular del sonido.

La aplicación se realiza por medio del trazado de rayos o de ondas. Nos quedaremos con el primero por ser el más sencillo y de mejor comprensión.

4.2.1. ANÁLISIS POR MEDIO DE RAYOS.

Para hallar el haz de rayos resultantes de la reflexión sobre un plano y que parten de un punto S, se traza el punto S', simétrico a S, respecto al plano, y todas las rectas que partiendo de S' cortan al plano, componen el haz de reflexión buscado.

Así, podemos hallar el recorrido de los rayos sonoros tanto directos como reflejados y medir los recorridos que realiza el sonido para comprobar de inmediato si existe un desplazamiento que pueda generar eco.

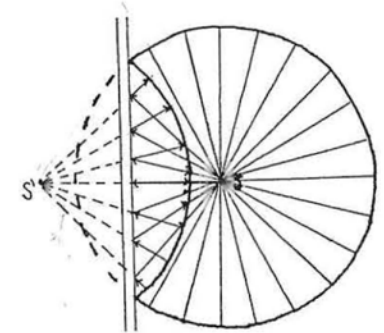


FIG. 11

Para hallar la inclinación que deberá tener un plano para que el sonido que parte de S se refleje en un punto P determinado.

El recorrido SMP (fig. 12) del rayo está fijado, la incógnita es la inclinación de AB. Bastará con prolongar PM hasta el punto S' tal que MS sea igual a MS', trazando por M la perpendicular a SS' quedará definido AB, ya que S' resulta simétrico de S respecto a AB.

Si la reflexión se realiza sobre superficies curvas, se recurrirá a las propiedades del plano tangente en el punto de incidencia. Y se procederá en cada punto como si el plano tangente fuera el de reflexión.

Cuando la curva no es circular ni corresponde a un trazado geométrico determinado (fig. 13), halla tomando 2 puntos C equidistantes de P y próximos entre sí; la paralela T trazada por P a la cuerda C-C será la tangente a la curva en dicho punto, y el simétrico S' respecto a la misma de S determinará finalmente el trazado.

Para hallar un punto A de un arco en el cual debe incidir un rayo SA para reflejarse por un punto P determinado.

Se sitúa un punto A' como solución aproximada, que al unirlo con S y P determinará sobre la circunferencia, resultante de completar el arco, los puntos M y N. La perpendicular al segmento MN que pasa por C (centro del arco) corta al arco en el punto A que si queda próximo a A' puede aceptarse como solución, sino deberá repetirse la operación situando el nuevo punto entre A' y A.

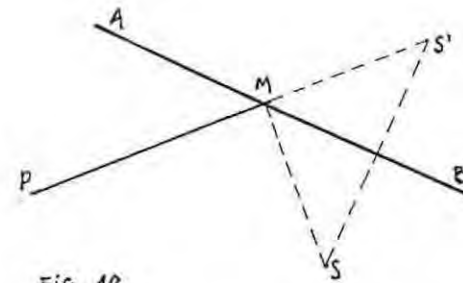


FIG. 12

La reflexión sobre un punto de la misma se

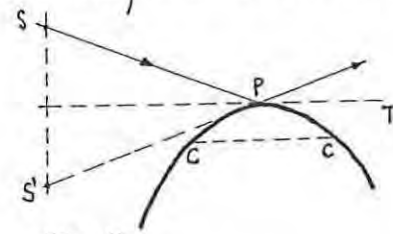


FIG. 13.

que al unirlo con S y P determinará

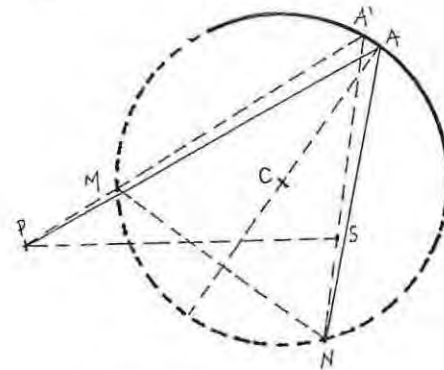


FIG. 14.

4.2.2. DETERMINACIÓN GRÁFICA DEL ECO.

Si en un punto S (fig. 15) se produce un sonido, y frente al mismo se halla el plano reflectante NN, para que el oyente situado en P aprecie efecto de eco tiene que verificarse que la diferencia de caminos recorridos por el sonido directo SP y el reflejado SO + OP tenga, por lo menos, el valor límite de 22 m.*

Habrá eco cuando: $SO + OP - SP = 22 \text{ m}$

Esto coincide con la definición de la hipérbola, y, por lo tanto, si se traza la hipérbola, cuyos focos son, en este caso, S y S', y la diferencia constante se hace igual a 22 m, sobre la misma se hallarán todos los puntos P cuya diferencia de caminos recorridos por el sonido directo PS y el reflejado SOP es igual a 22 m.

Puesto que la hipérbola tiene la propiedad de que para todo punto exterior a ella la diferencia de distancia a los focos es menor que la dada, y si el punto es interior, esta diferencia es mayor, por lo tanto todo el sector interior a la hipérbola, será zona de ecos.

El método para trazar una hipérbola consiste en hallar una serie de puntos que al unirlos la conformen. Hallando el simétrico S' del foco sonoro S (fig. 16) se obtendrán los focos de la hipérbola. Tomando a partir de P, superior e inferiormente, la distancia $D/2 = 11 \text{ m}$, se obtienen los vértices V y V' de la hipérbola. Si sobre la recta SS', y exteriormente al segmento SS' se toma un punto cualquiera X₁ y con radio X₁V' y centro en S' se traza un arco y seguidamente con centro en S y radio X₁V se traza un muro arco que corte al anterior, los puntos P₁ de la intersección pertenecen a la hipérbola. Repitiendo la operación con otro punto X₂ se hallarán los puntos P₂. De este modo y mientras más puntos se halle, más exacta será la hipérbola.

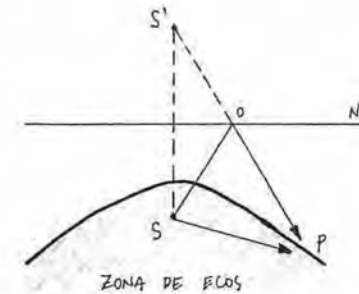


FIG. 15

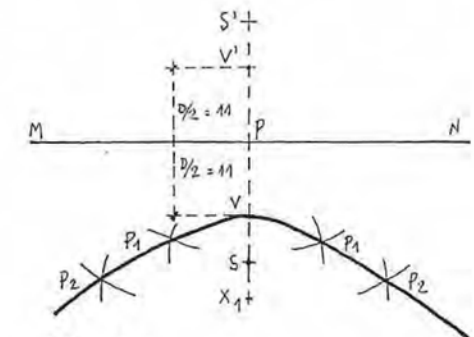


FIG. 16

* Como ya sabemos, un intervalo de $1/10 \text{ seg.}$ o más para la palabra y $1/15 \text{ seg.}$ o más para la música, entre la onda directa y la reflejada, permite al oído humano captarlas como separadas y, por lo tanto, percibir la existencia de eco. Para ello se utiliza el intervalo de $1/15 \text{ seg.}$ por ser el más desfavorable, luego: $340 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} \times \frac{1}{15} \text{ seg.} = 22,9 \approx 22 \text{ m.}$



4.2.3. EQUIPOTENCIALIDAD SONORA.

El método gráfico permite estudiar y prever la adecuada disposición de las superficies reflectantes de un local, para obtener un nivel sonoro equipotencial, o sea homogéneo, en todo el recinto.

Para esto existen 2 métodos: 1º Por reflexiones sucesivas.
2º Por el método de Lyon.

1º METODO DE LYON. (8)

Se trata de determinar gráficamente el perfil adecuado del escenario para que sea capaz de producir reflexiones convenientes y en aumento con la distancia de los puntos a que se dirige, obteniéndose así igual intensidad en todos los puntos.

Su aplicación, se basa en que la cantidad del sonido reflejado es proporcional al tamaño de la superficie de reflexión.

Si MN es el plano de audición (fig. 17) de una sala, S el foco sonoro, A y B los puntos aproximados que delimitan la altura y profundidad del escenario.

Se comienza dividiendo el plano de audición en un número par de sectores, MP, PQ, QR, RT, TU, UN, y se supone que la intensidad será igual en los puntos centrales 1, 2, 3, 4, 5 y 6, (será más exacta cuanto más estrechos sean estos sectores). Es suficiente que cada sector abarque 5 m.

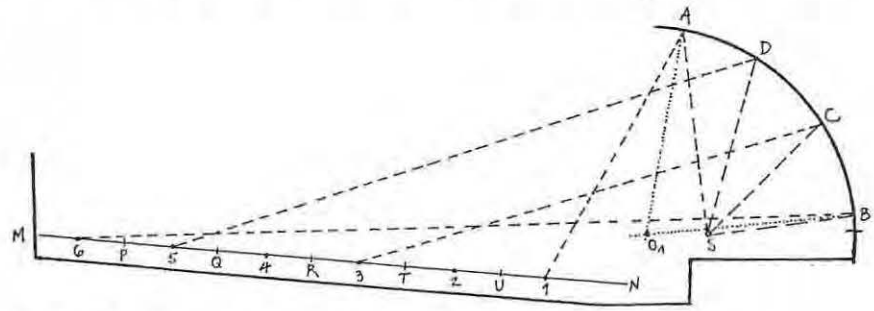


FIG. 17.

Luego, se trazan los rayos extremos SA y SB y sus reflexiones A1 y B1. Para que efectivamente estos rayos reflejados pasen por 1 y 6, la superficie de reflexión deberá tener su centro en la intersección de las bisectrices de cada ángulo SA1 y SB1, el punto O1.

Normalmente los puntos A y B no estarán en el mismo arco debiendo trazarse uno promediado (el de la fig. 17 es el obtenido con este primer ajuste).

Se trazan además de estos rayos extremos, algunos más, D1 y C1. (ver fig. 14 para el trazado.)

Se debe comprobar que la distancia entre los caminos recorridos y el directo

no es mayor a 22 m.

Luego, se halla el inverso del cuadrado ($1/x^2$) del camino recorrido por el sonido reflejado para cada punto, y se divide cada uno de ellos por el menor, obteniendo así las intensidades relativas, siendo estas cantidades proporcionales a las intensidades que obtendrían por reflexión, si esta fuera uniforme para todos los puntos.

Para que esto sea efectivo se debe cumplir con 2 condiciones:

- Que el coeficiente de reflexión de la superficie reflectora sea prácticamente 1. De modo que no haya pérdida de intensidad por la absorción.
- Para que la reflexión sea uniforme las superficies que dirigen el sonido a cada punto deben ser equivalentes.

Para conseguir una intensidad igual en todos los sectores se deberá lograr una reflexión que se incremente según se aleja el sector hacia el cual reflejen el sonido.

Para ello se dividirá el arco AB en partes proporcionales a las intensidades relativas encontradas, de menor a mayor empezando por A. Obteniéndose así los segmentos AE, EF, FG, G.B. Cuyos puntos medios a, e, f y g, al unirse con los puntos centrales 1, 2, 3, 4, forman los ángulos 1aS, 2eS, 3fS y 4gS, cuyos bisectrices permitirán trazar una envolvente del arco AB, que en segunda aproximación se acercará al perfil buscado. (ver pag. 64.)

Para el trazado de esta envolvente se hallan las intersecciones de cada pareja consecutiva de bisectrices. La 1ª y la 2ª se cortan en P1, la tercera y la cuarta en P2. Con centro en P1 se traza el arco BF y con centro en P2 el arco FA.

Esta nueva curva AB' alterará los caminos iniciales por lo que se deberá repetir toda la operación hasta que la curva obtenida sea lo más cercana a la inicial. En planta se repetirá el procedimiento para obtener finalmente la superficie.

2º POR REFLEXIONES SUCESIVAS.

Este método consiste en dividir, nuevamente, el plano de audición en sectores para generar por medio de la disposición de planos laterales (en planta) y planos de techo (en corte) de modo que reflejen el sonido hacia las filas más alejadas.

Considerando que el estudio se trata de salas pequeñas se podrá prescindir de un cálculo matemático para determinar la cantidad de reflexiones sucesivas y los decibeles obtenidos en cada punto.

Bastará, pues, con una determinación gráfica de las superficies. Que parte dividiendo el plano de audición en sectores, de la misma manera como lo hace el método de Lyon y luego conduciendo el foco sonoro y por medio del procedimiento de la fig. 12 obtener estos planos adecuados para cada sector. Se debe realizar tanto en planta como en corte.

5. MATERIALES ABSORBENTES. <7><8>

5.1. TIPOS DE MATERIALES

5.1.1. MATERIALES POROSOS.

Cuando una onda sonora incide sobre una superficie de un material muy poroso que presenta infinitas cámaras de aire o poros que se comunican entre sí y se propaga dentro de él perdiendo energía a causa de los rozamientos de las moléculas de aire en movimiento contra el material y esta parte de la energía acústica se transforma en calor.

Si este material se encuentra adosado a una superficie reflectora, la onda después de atravesar el material se refleja y vuelve a atravesarlo disminuyendo todo lo que el material permita. (fig. 18)

Para utilizar un material poroso se debe considerar:

— Cuanto más poroso, debe ser mayor su espesor, sino la onda pierde muy poca energía al atravesarlo.

— La absorción de los materiales fibrosos es mayor para las frecuencias altas. (fig. 19)

— La absorción para las frecuencias agudas no depende del espesor del material. Mientras que, para las frecuencias bajas, aumenta con el espesor. (fig. 20).

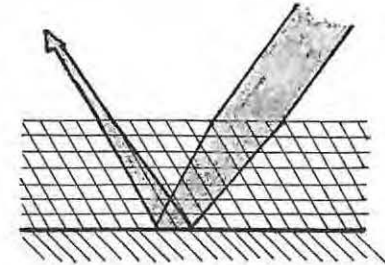


FIG. 18

MATERIAL ABSORBENTE POROSO ADOADO A UNA PARED.

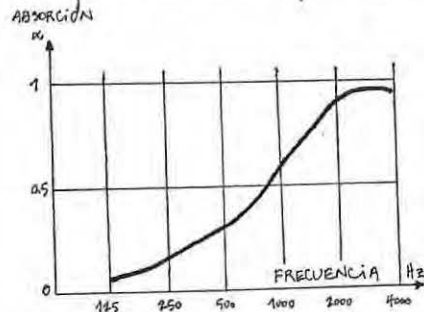


FIG. 19

ABSORCIÓN DE UNA MANTA DE FIBRAS

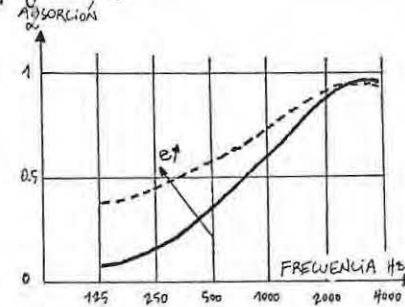


FIG. 20

INFLUENCIA DEL ESPESOR DE UNA MANTA DE FIBRAS SOBRE LA ABSORCIÓN.

— El coeficiente de absorción no es el mismo si el material se encuentra adosado a una pared o a cierta distancia. La disposición adosada es más desfavorable.
 Son materiales absorbentes porosos, por ejemplo, los paneles de lana de rocio o de roca, los paneles de fibras vegetales y los de yeso fisurado.

5.1.2. RESONADORES

Un recipiente cerrado de volumen "V" con una, única, abertura relativamente estrecha y larga, constituye un resonador Helmholtz. (fig. 21)

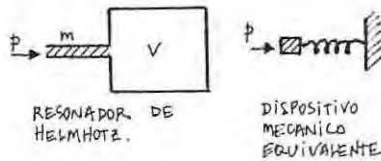


FIG. 21

Cuando hay una presión p en la entrada del resonador, la masa (m) de aire contenido en el tubo tiende a desplazarse frente a la acción de esta presión.

El aire del volumen V ofrece una fuerza a este desplazamiento y se comporta como un resorte.

La frecuencia de resonancia será:

c = velocidad del sonido V = volumen cuerpo
 S = sección del cuello l = long. cuello.
 R = radio del cuello

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(1 + 1.6R)V}}$$

La presión imprime una velocidad al aire del tubo que se hace mayor cuanto más cercana a f_0 sea la frecuencia del sonido aplicado. El desplazamiento del aire produce un desprendimiento de calor, a causa del rozamiento, que va aumentando con la velocidad del aire. Produciéndose, entonces, una absorción de cierta parte de la energía acústica incidente. (fig. 22)

De acuerdo a esto el resonador es un absorbente muy selectivo puesto que si el sonido aplicado no corresponde a la frecuencia del resonador este no entra en resonancia y por lo tanto no hay absorción. Pero si le ponemos al resonador un material poroso, la absorción aumenta ya que el movimiento del aire interior, que se comprime y se expande como un resorte, es amortiguado por los rozamientos sobre todas las paredes de los poros.

La parte de la energía que no es absorbida por los rozamientos sale afuera por radiación de la superficie exterior del cuello.

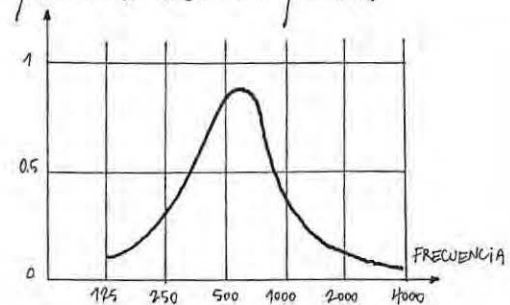


FIG. 22 ABSORCIÓN DE UN RESONADOR.

RESONADORES AGRUPADOS

Una placa perforada colocada a una cierta distancia de una pared puede compararse con una serie de resonadores agrupados. (fig. 23)

Para efectos del estudio práctico esta forma es la que más nos interesa por tener una mejor aplicación.

Si una placa tiene perforaciones de diferentes dimensiones, aparecen diferentes frecuencias de resonancia que corresponden a los diferentes diámetros de las perforaciones. Su curva de absorción será en este caso como la fig. 24.

También se puede agregar materiales porosos para obtener mejores resultados, menos selectivos. (fig. 25).



FIG. 23

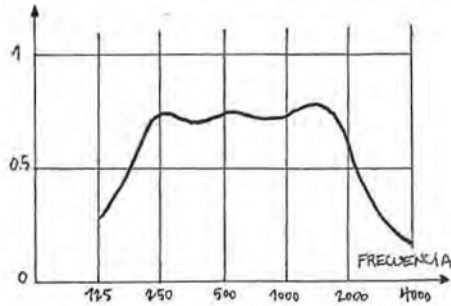


FIG. 24

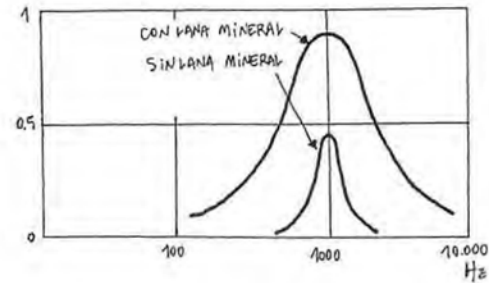


FIG. 25 FACTOR DE ABSORCIÓN DE PANELES PERFORADOS.

Los resonadores son útiles por cuanto las frecuencias absorbidas pueden ser predeterminadas, y son capaces de absorber las frecuencias medias entre 500 y 1250 Hz.

5.1.3. MATERIALES REFLEXIVOS. (MEMBRANAS)

Un panel situado a cierta distancia de una pared clara o enclavado sobre un bastidor de madera, constituye un tablero reflexivo. (fig. 26).

Las ondas sonoras son una sucesión de ondas de compresión y de extensión, que cuando inciden

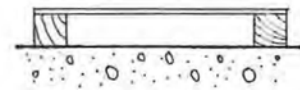


FIG. 26 TABLERO REFLEXIVO.

sobre el tablero lo ponen en vibración. Si la frecuencia de las ondas sonoras coincide con la propia del tablero se produce resonancia. El tablero se pone en movimiento, una parte de la energía sonora que incide sobre él se transforma en energía mecánica y, luego, a causa de los movimientos y rozamientos internos de deformación se transforma en calor. Otra parte se pierde en el frotamiento de las moléculas de aire que hay detrás del tablero. Por lo tanto, hay absorción. La fórmula siguiente permite conocer la frecuencia para la cual la membrana tiene un coeficiente de absorción máximo:

$$f = \frac{600}{\sqrt{m \times d}}$$

m = masa del tablero en Kg/m^2

d = espesor de la capa de aire detrás del tablero, en cm.

La absorción de un panel reflexivo es muy selectiva, siendo la frecuencia de resonancia, generalmente, baja. Si el tablero es ligero y flexible, la absorción es mayor.

Por otra parte, mientras más pesado y grueso sea el tablero y mientras más distante esté del muro, las frecuencias absorbidas son más bajas.

Es posible aumentar su campo de absorción, colocándolo detrás un material poroso, encolado o sobre el tablero. (fig. 27)

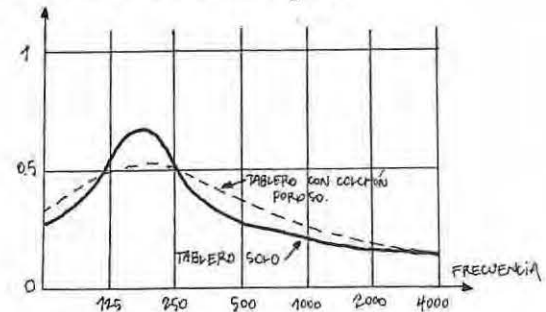


Fig. 27

5.1.4. PROCEDIMIENTOS COMBINADOS.

Los 3 tipos de materiales anteriores establecen 3 procesos principales de absorción:

- las fibras para las frecuencias altas (los agudos).
- las membranas o tableros reflexivos para las frecuencias bajas (los graves).
- los resonadores para las frecuencias medias.

Ahora, frente a la necesidad de absorber, simultáneamente, frecuencias bajas, medias y altas, surge la posibilidad de combinar los diferentes tipos:

- Colocando un material poroso en diafragma se aumenta la absorción de los graves. Pues el efecto de porosidad se suma al de flexión. (fig. 28 y 29).

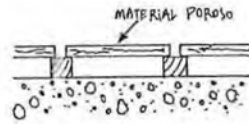


FIG. 28

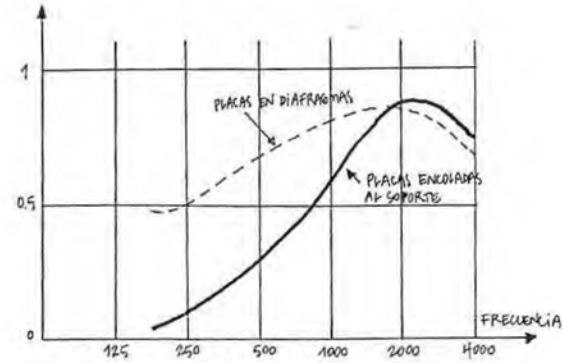


FIG. 29 ABSORCIÓN DE UN MATERIAL POROSO SEGÚN LA FORMA DE COLOCACIÓN.

— Una placa con orificios y colocada en diafragma absorbe las frecuencias bajas y medias. Y si además se agrega un material poroso por detrás de estas placas, absorbe también frecuencias altas. (fig. 30 y 31).

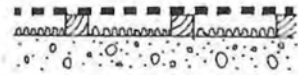


FIG. 30

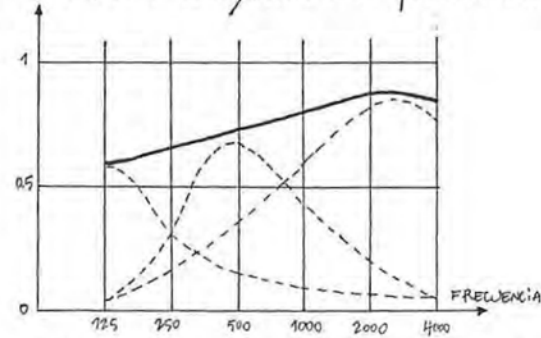


FIG. 31 ABSORCIÓN DE UN MATERIAL POROSO, PERFORADO Y MONTADO EN MEMBRANA.

— Es otra solución usar un tablero poroso doble, con orificios.

6. SUPERFICIES CON COEFICIENTE DE ABSORCIÓN VARIABLE. (8)

6.1. ELEMENTOS ROTATIVOS.

Se trata de colocar elementos capaces de girar en torno a su eje, con diferentes materiales de distinto coeficiente de absorción.

Pueden ser de 3 superficies:

- reflectante
- medianamente absorbente y
- absorbente.

Si el giro se realiza alternadamente se consigue una gama de coeficientes de absorción y se mejora la difusión al irregularizar la distribución de los absorbentes.

Pueden ser de 2 caras:

- una de ellas reflectante de forma cilíndrica.
- la otra lisa y absorbente.

Este sistema que proporciona muy buena difusión.

En cuanto al tamaño de estos elementos, dependerá del local, en general es conveniente la diversidad de tamaños.

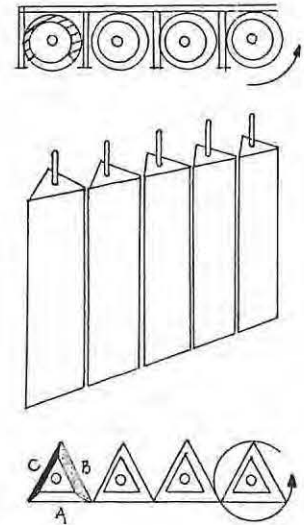


FIG. 32

6.2 LÁMINAS DE INCLINACIÓN VARIABLE.

Un panel compuesto por láminas puede transformarse en una superficie lisa si estas láminas están puestas de plano, con la absorción propia del material de las láminas, o en una superficie cuya absorción es la del material situado detrás de las láminas cuando estas se colocan de perfil.

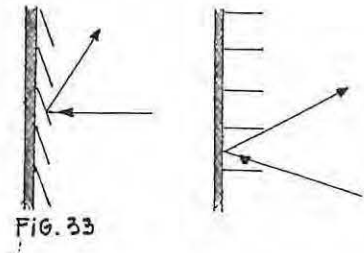


FIG. 33

6.3. PANELES ABATIBLES.

Otra solución basada en el mismo principio de las anteriores es la colocación de una serie de hojas con bisagras (como puerta) que al ser abiertas otorgan una superficie igual al doble de su propio tamaño. (fig. 34).

Si la superficie interior es la absorbente y la exterior es la reflectante, al abrir el panel se disminuirá la superficie reflectante y se aumentará la absorbente.

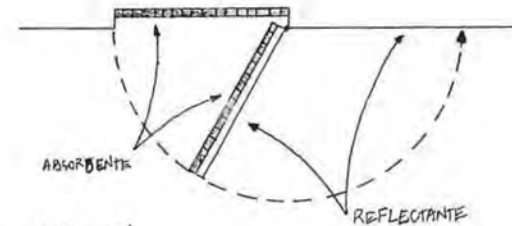


FIG. 34

6.4. CORTINAS.

Los coeficientes de absorción de las cortinas crecen con el peso de ellas siendo relativamente elevados para las altas frecuencias y casi nulos para las bajas.

Al colocar el cortinaje sobre una pared reflectante la absorción será distinta según: se coloque recogida, parcialmente recogida o lisa, según el peso del tejido y según la distancia a que se encuentre de la pared. El tamaño del fruncido influye grandemente, produciéndose la máxima absorción cuando la longitud del fruncido es del orden de la longitud de onda incidente.

La utilización de cortinas es muy selectiva, para las altas frecuencias, por lo que se deben utilizar cuando esté asegurada la absorción de las bajas frecuencias. Se puede mejorar el coeficiente de absorción para estas separando el cortinaje por lo menos 20 cm de la pared.

6.5. PANELES DE RESONANCIA VARIABLE.

En el capítulo 5, de los materiales absorbentes en que vimos los resonadores, se conoció que la frecuencia de resonancia dependía, entre otras cosas, del tamaño del orificio y de la cámara de aire.

El panel de resonancia variable (fig. 35) consiste en variar la inclinación del panel, lo que producirá,

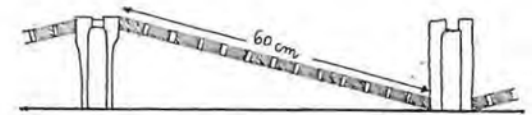


FIG. 35

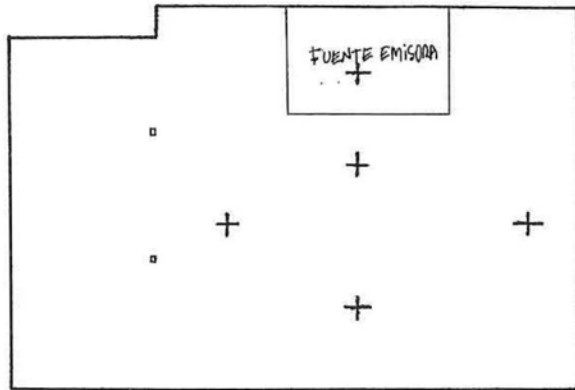
cambios en el tamaño de la cámara de aire y en la sección útil del del orificio, por lo tanto, producirá también cambios en la frecuencia absorbida.

En general, el tipo de local permitirá la utilización de variados métodos particulares en cada caso. Hasta incluso cambiar los tipos de asientos según la función, más absorbentes o más reflejantes.

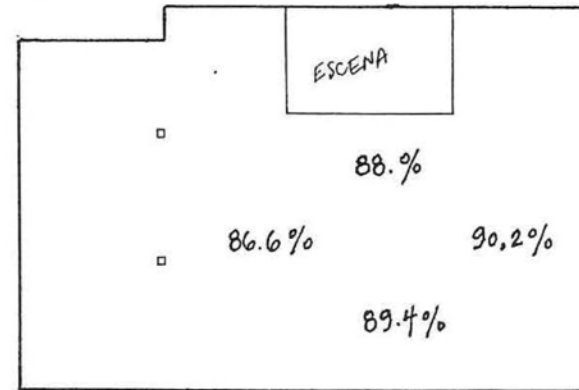
II. ESTUDIO ACÚSTICO

1.1.1. ENSAYO DE INTELIGIBILIDAD.

UBICACIÓN OBSERVADORES.



PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD EN CADA PUNTO

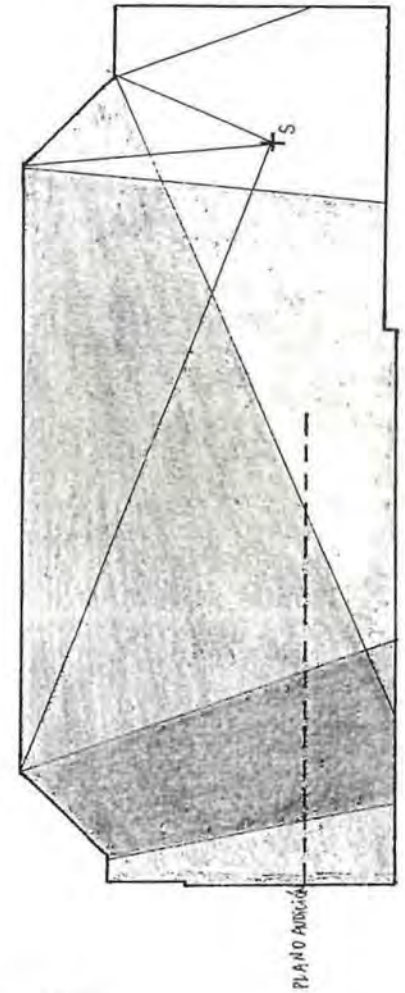
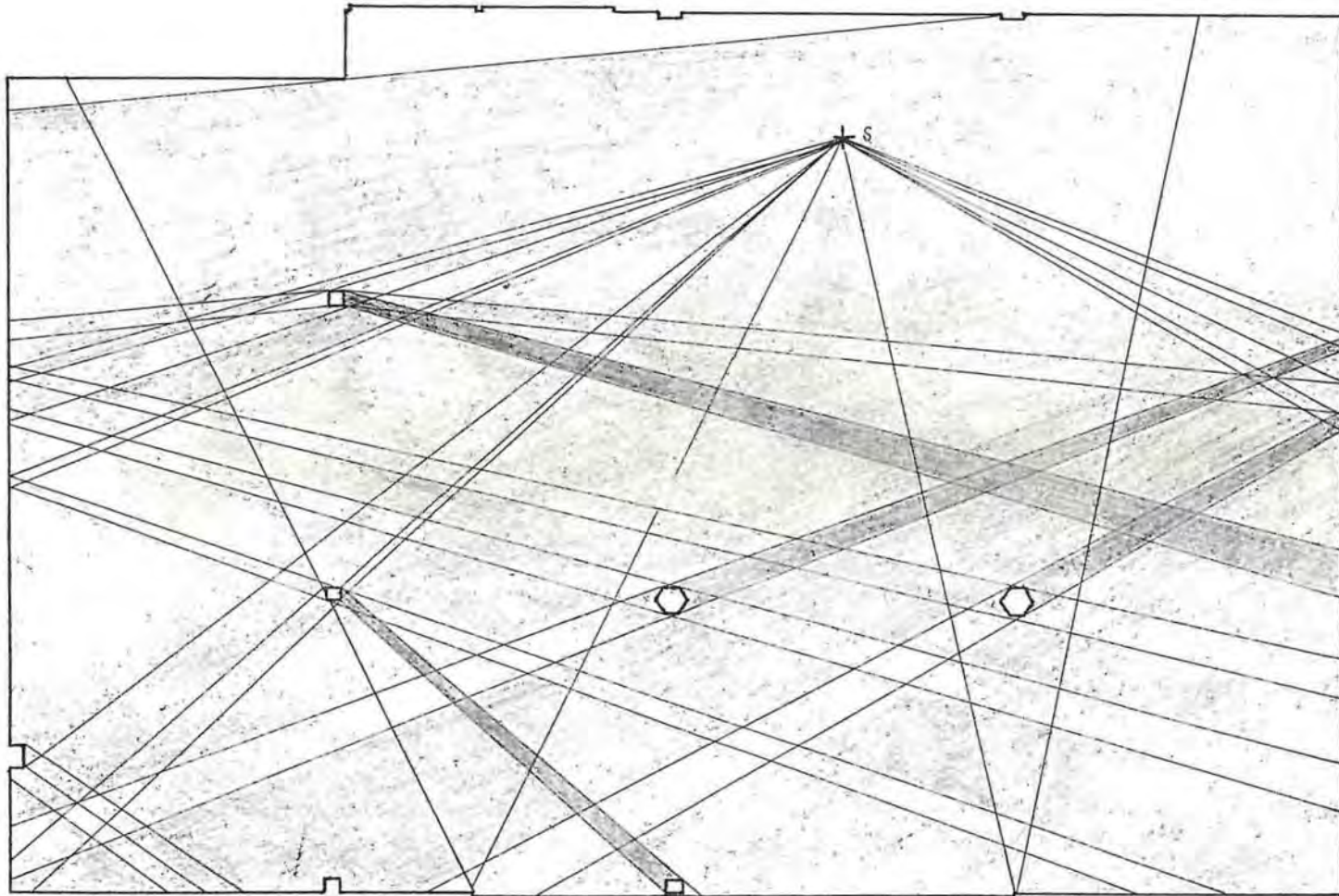


PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD DE LA SALA:

88.55 % (PROMEDIO) → INTELIGIBILIDAD SATISFACTORIA.

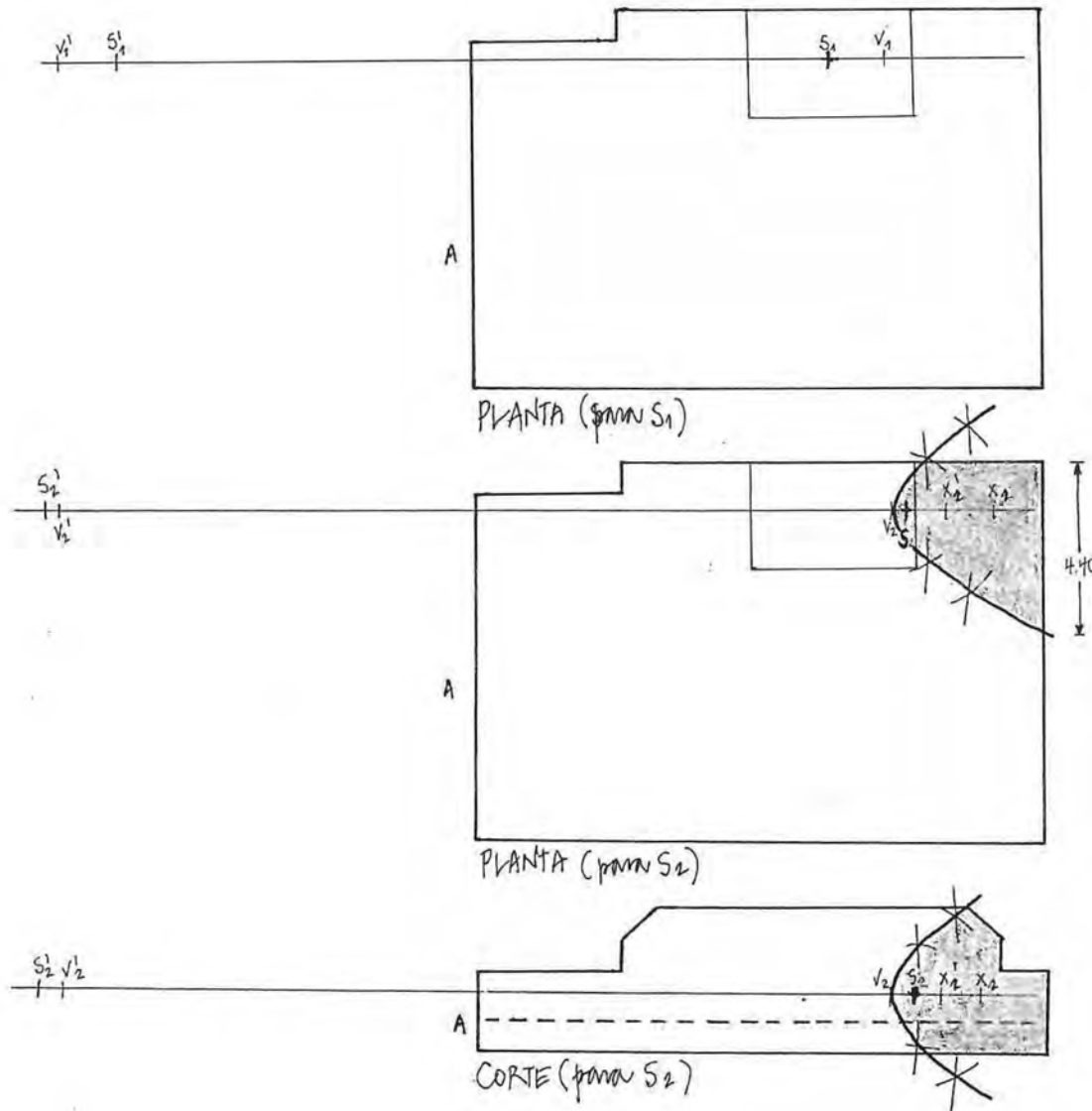
1.1.2 ACÚSTICA GRÁFICA

1.1.2.1. GRÁFICA DE LAS REFLEXIONES.



LA GRÁFICA DE LAS REFLEXIONES REVELA EN PLANTA QUE LA EXISTENCIA DE PILARES INTERMEDIOS GENERAN ZONAS DE SILENCIO. PERO, EN ESTE CASO, LA GRÁFICA EN CORTE ES CONTINUA Y CUBRE ESTAS ZONAS. YA NO SERÁN ZONAS DE SILENCIO, SINO ZONAS MENOS FAVORECIDAS POR LAS REFLEXIONES. LO QUE DEMUESTRA UN PROBLEMA DE DIFUSIÓN DEL SONIDO.

1.1.2.2. GRÁFICA EXISTENCIA DE ECOS.



SI SITUAMOS EL FOCO SONORO EN EL CENTRO DE LA ESCENA, NO EXISTE ECO, PUESTO QUE V_1 Y V_1' QUEDAN FUERA DEL SEGMENTO S_1S_1' NO CUMPLIENDOSE LA ECUACION $S_0 + OP - SP = 22m$.

AHORA, SI SITUAMOS ESTE FOCO EN EL EXTREMO (S_1) EXISTIRIA ECO PRODUCIDO POR LA PARED LATERAL A, EN EL AREA LATERAL OPUESTA A ELLA.

AUN ASI ESTE ECO NO INCIDE EN EL PLANO DE AUDICION. POR LO TANTO PODRIAMOS DECIR QUE LA SALA SE HAYA LIBRE DE ECO.

1.1.3. CÁLCULO CONDICIONES DE ABSORCIÓN.

CASO 1 CENTRO DE EVENTOS U.C.V.

CLASE SUPERFICIE		ALFOMBRA	ENCUCIDO YESO	REVEST. INTERMIT	MADERA MACHIEBRADA	PUEERTAS	CORTINAS	PLUMAVIT EMPASTADO		PUBLICO EN ASIENTO TAPIZADO	BUTACAS DE MAD. CON ASIENTO TAPIZADO				VALORES EXISTENTES	
S = m ²		235,9	72,8	78,6	175	11,2	20,3	248,8		51	52				A	188
128 Hz	a	0,04	0,01	0,01	0,1	0,25	0,1	0,01		0,3	0,04					
	S x a	9,44	0,73	0,79	1,75	2,8	2,03	2,49		15,3	3,12				38,45	3,81
256 Hz	a	0,04	0,01	0,01	0,11	0,34	0,2	0,01		0,35	0,08					
	S x a	9,44	0,73	0,79	1,93	3,81	4,06	2,49		17,85	4,16				45,26	3,24
512 Hz	a	0,08	0,02	0,02	0,1	0,18	0,4	0,02		0,42	0,1					
	S x a	18,87	1,46	1,57	1,76	2	8,12	4,98		21,42	5,2				65,37	2,24
1024 Hz	a	0,12	0,03	0,03	0,08	0,08	0,5	0,03		0,46	0,12					
	S x a	28,31	2,18	2,36	1,4	0,9	10,15	7,46		23,46	6,24				82,46	1,78
2048 Hz	a	0,03	0,04	0,04	0,08	0,08	0,65	0,04		0,48	0,12					
	S x a	7,08	2,91	3,14	1,4	0,9	13,2	9,95		24,48	8,24				69,3	2,12
4096 Hz	a	0,10	0,05	0,05	0,11	0,11	0,62	0,05		0,4	0,12					
	S x a	23,59	3,64	3,93	1,93	1,23	12,59	12,44		20,4	6,24				85,99	1,7

1.1.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, EXISTENTE Y ÓPTIMAS.
CASO 1 CENTRO DE EVENTOS UCV.

	TIEMPO REVERB. EXISTENTE	TIEMPO OPTIMO PARA LA PALABRA	TIEMPO ÓPTIMO PARA MÚSICA DE CAMARA
	seg	seg	seg
128 Hz	3.81	$0.86 \times 1.3 = 1.12$	$1.04 \times 1.15 = 1.2$
256 Hz	3.24	$0.86 \times 1.15 = 0.99$	$1.04 \times 1.1 = 1.14$
512 Hz	2.24	$0.86 \times 1 = 0.86$	$1.04 \times 1 = 1.04$
1024 Hz	1.78	$0.86 \times 0.9 = 0.77$	$1.04 \times 0.9 = 0.94$
2048 Hz	2.12	$0.86 \times 0.9 = 0.77$	$1.04 \times 0.9 = 0.94$
4096 Hz	1.7	$0.86 \times 0.9 = 0.77$	$1.04 \times 0.9 = 0.94$

0.86 es el tiempo de reverberación obtenido en el gráfico de la fig. 7 adecuado para la palabra, en un local de 916 m³ y para una frecuencia de 512 Hz. Multiplicando este valor (0.86) por los valores de "f" para cada frecuencia, se obtendrá la curva tonal óptima para la palabra.
1.04 es el tiempo de reverberación obtenido en el gráfico de la fig. 8 adecuado para la música en un local de 916 m³ y para una frecuencia de 512 Hz. Multiplicando este 1.04 por los valores de "f" para cada frecuencia, se obtendrá la curva tonal para la música.

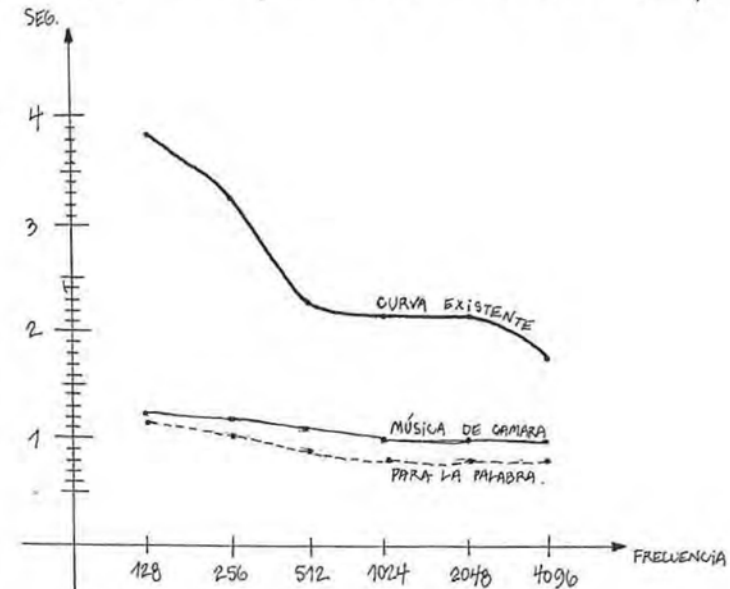
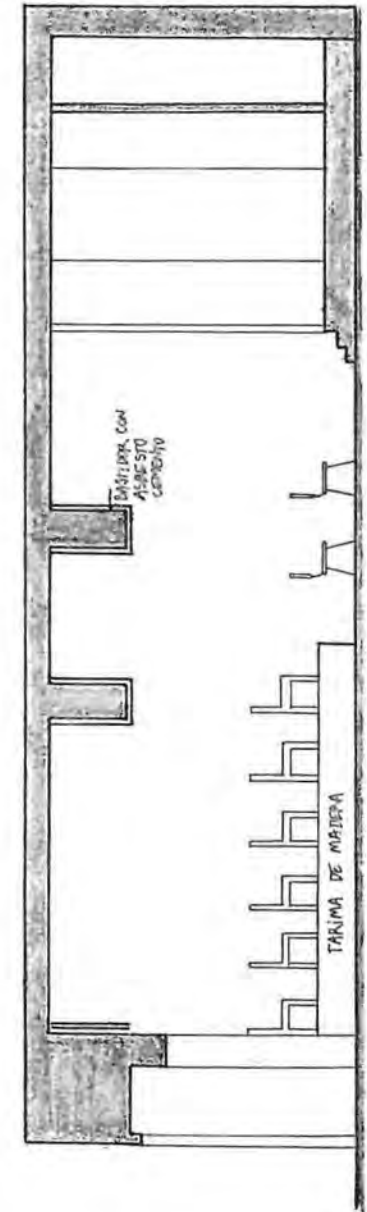
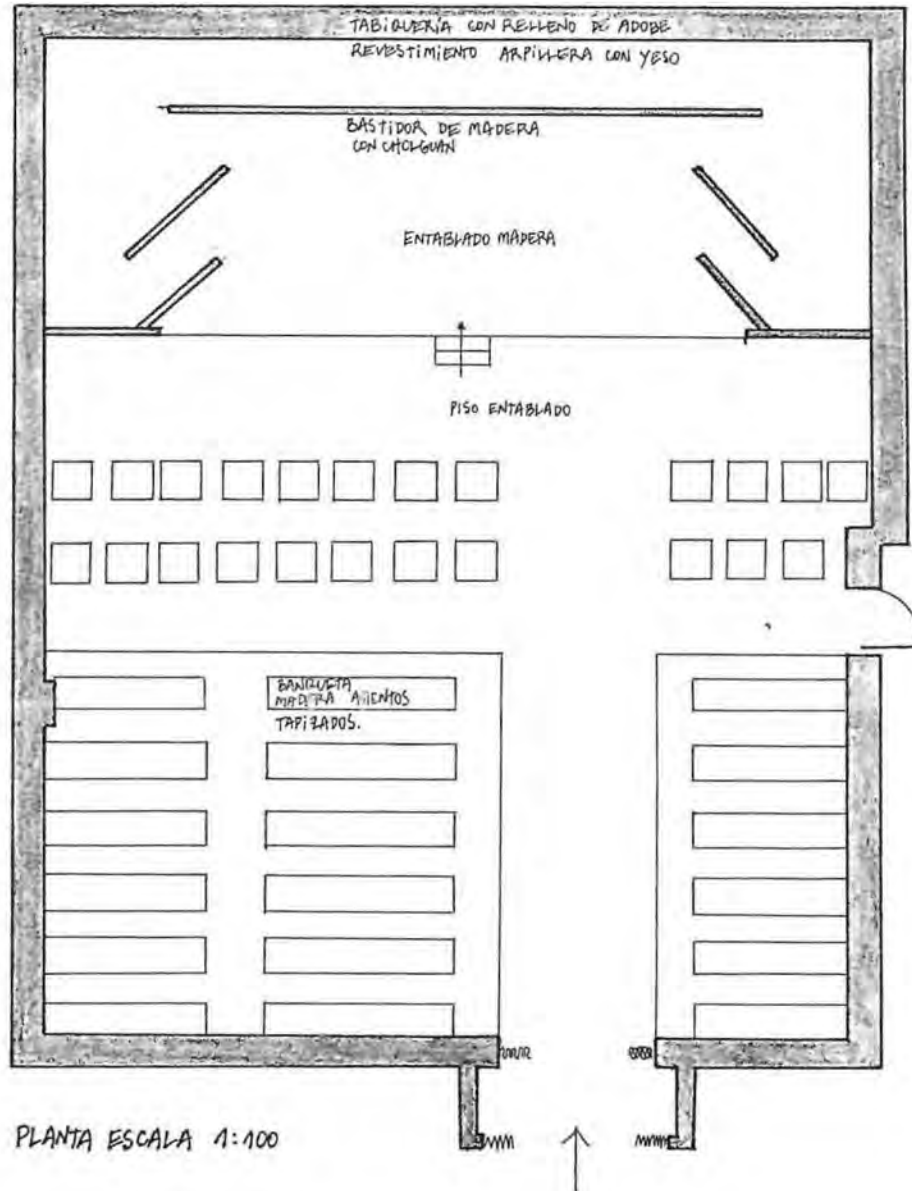


GRAFICO DE LA CURVA TONAL.

LA CURVA EXISTENTE ESTÁ MUY POR SOBRE LAS CURVAS ÓPTIMAS. LO QUE DEMUESTRA UNA REVERBERACIÓN EXAGERADA (NO APROPIADA NI PARA MUSICA CORAL) Y LA NECESIDAD DE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE ABSORBENTES.

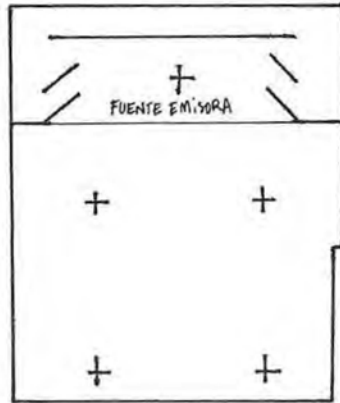
1.2. CASO 2 : TEATRO VICTORIA.

AFORO 80 PERSONAS
VOLUMEN 569 m³.

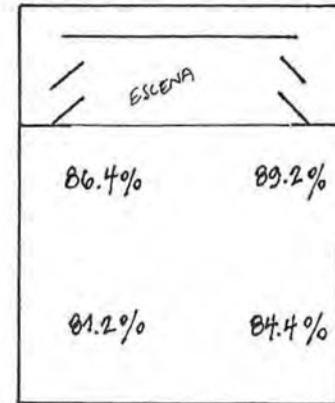


1.2.1 ENSAYO DE INTELIGIBILIDAD.

UBICACIÓN OBSERVADORES.



PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD EN CADA PUNTO



PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD DE LA SALA:

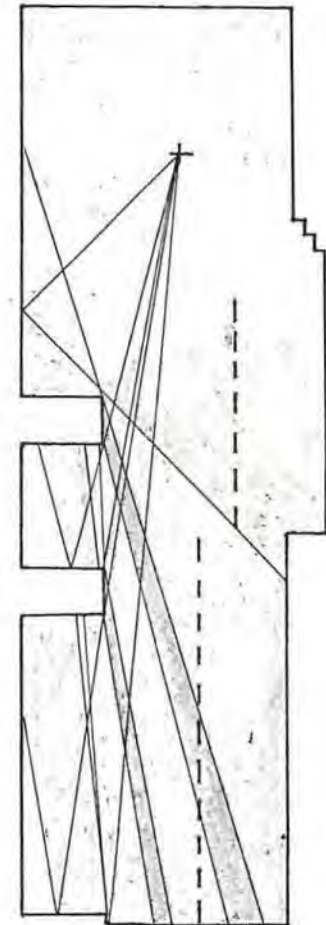
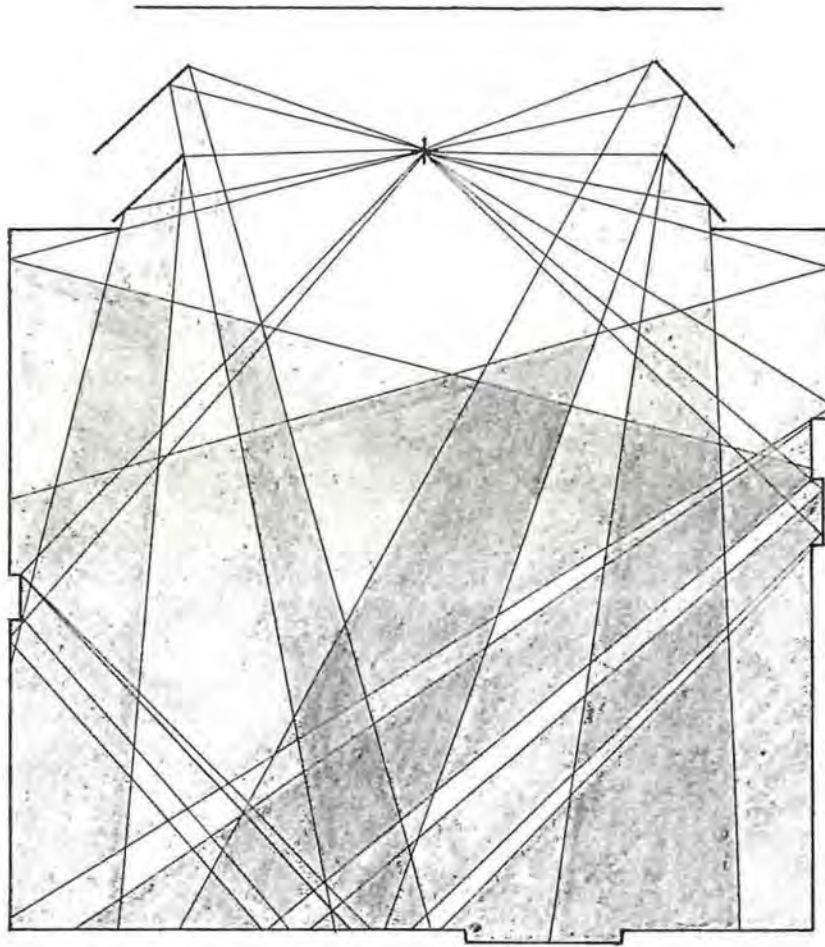
85.3 %
(PROMEDIO)



INTELIGIBILIDAD SATISFACTORIA.

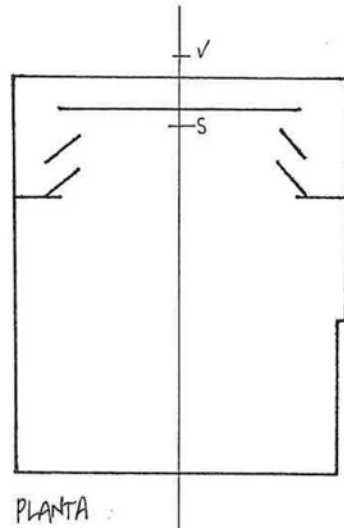
1.2.2 ACÚSTICA GRÁFICA

1.2.2.1. GRÁFICA DE LAS REFLEXIONES.



LAS IRREGULARIDADES DE LOS MUROS LATERALES PRODUCE EN PLANTA ÁREAS DE SILENCIO, QUE NO SE REPTEN EN EL CORTE POR LO QUE SERÁN ÁREAS, SOLAMENTE DE MENOR REFLEXIÓN. LA DIFUSIÓN DEL LOCAL ES BASTANTE INADECUADA.

1.1.2.2. GRÁFICA EXISTENCIA DE ECOS.



AÚN CUANDO EL FOCO HA SIDO PUESTO EN EL FONDO DE LA ESCENA (EN LA SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE). LA GRÁFICA DEMUESTRA, AL NO HABER UNA DISTANCIA MAYOR A 11m. ENTRE EL FOCO Y EL MURO, QUE NO EXISTE ECO. (V y V' QUEDAN FUERA DEL SEGMENTO SS').

1.2.3. CALCULO DE CONDICIONES DE ABSORCIÓN. CASO TEATRO VICTORIA.

CLASE SUPERFICIE		ENTABADO DE PISO	ADORE ESTUCADO CON YESO	BASTIDOR DE PAB. CON CHOL-GUÁN	BASTIDOR DE PAB. CON INTERMIT	ENCUCIO YESO	PUERTA MAD. CON CHOL-GUÁN	CORTINA GÉNERO		PUBLICO CON ASIENTO TAPIZADO	BUTACAS DE MAD. CON ASIENTO TAPIZADO	VALORES EXISTENTES	
S = m ²		141.8	129.9	60.5	68.7	116	2	4.6		40	40	A	208
128 Hz	a	0.09	0.01	0.25	0.01	0.01	0.25	0.03		0.3	0.06		
	S x a	12.76	1.3	15.13	0.69	1.16	0.5	0.14		12	2.4	46.08	1.98
256 Hz	a	0.09	0.01	0.34	0.01	0.01	0.34	0.04		0.35	0.08		
	S x a	12.76	1.3	20.57	0.69	1.16	0.68	0.18		14	3.2	54.54	1.67
512 Hz	a	0.08	0.02	0.18	0.02	0.02	0.18	0.11		0.42	0.1		
	S x a	11.34	2.6	10.89	1.37	2.32	0.36	0.51		16.8	4	50.19	1.81
1024 Hz	a	0.09	0.02	0.10	0.03	0.03	0.1	0.17		0.46	0.12		
	S x a	12.76	2.6	6.05	2.06	3.48	0.2	0.78		18.4	4.8	51.13	1.78
2048 Hz	a	0.1	0.02	0.10	0.04	0.04	0.1	0.24		0.48	0.12		
	S x a	14.18	2.6	6.05	2.75	4.64	0.2	1.1		19.2	4.8	55.52	1.64
4096 Hz	a	0.07	0.01	0.06	0.05	0.05	0.06	0.35		0.4	0.12		
	S x a	9.92	1.3	3.63	3.44	5.8	0.12	1.61		16	4.8	46.62	1.95

1.2.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, EXISTENTE Y ÓPTIMAS.
CASO 2 TEATRO VICTORIA

	TIEMPO REVERB. EXISTENTE	TIEMPO ÓPTIMO PARA LA PALABRA	TIEMPO ÓPTIMO PARA MÚSICA DE CÁMARA
	seg	seg	seg
128 Hz	1.98	$0.8 \times 1.3 =$ 1.04	$1 \times 1.3 =$ 1.3
256 Hz	1.67	$0.8 \times 1.15 =$ 0.92	$1 \times 1.15 =$ 1.15
512 Hz	1.81	$0.8 \times 1 =$ 0.8	$1 \times 1 =$ 1
1024 Hz	1.78	$0.8 \times 0.9 =$ 0.72	$1 \times 0.9 =$ 0.9
2048 Hz	1.64	0.8×0.9 0.72	$1 \times 0.9 =$ 0.9
4096 Hz	1.95	$0.8 \times 0.9 =$ 0.72	$1 \times 0.9 =$ 0.9

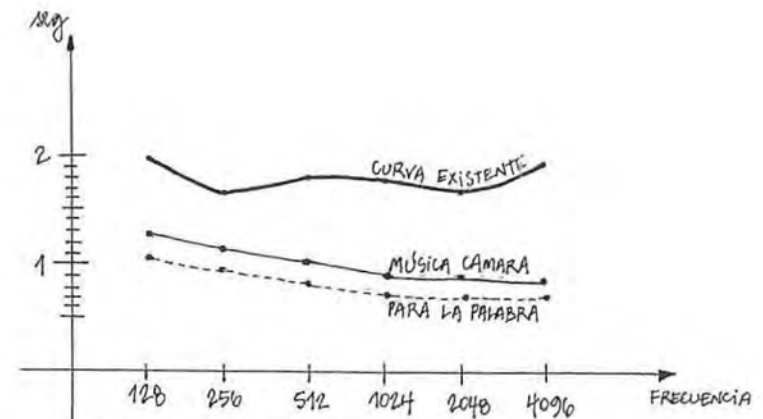


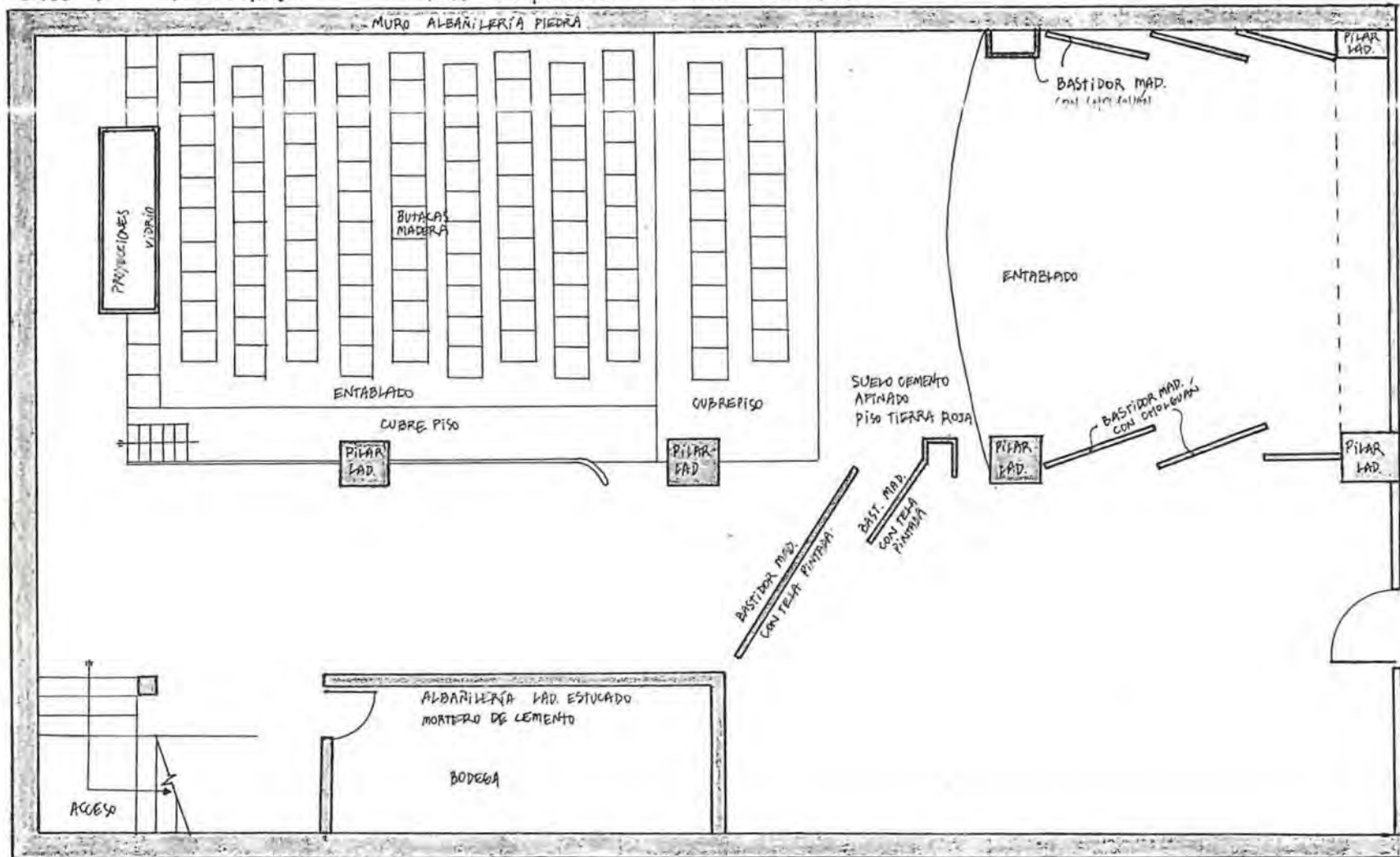
GRAFICO CURVA TONAL

EN ESTE CASO, NUEVAMENTE, LA CURVA EXISTENTE SOBREPASA FUERTEMENTE LAS CURVAS ÓPTIMAS. EXIGE LA COLOCACIÓN DE ABSORBENTES.

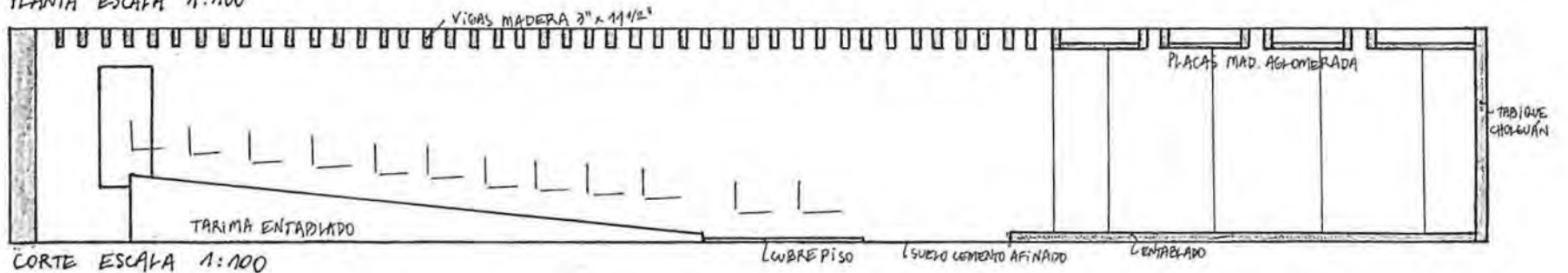
1.3. CASO 3 : "EL FAROL"

Aforo 110 personas

VOLUMEN = 618.97 m³

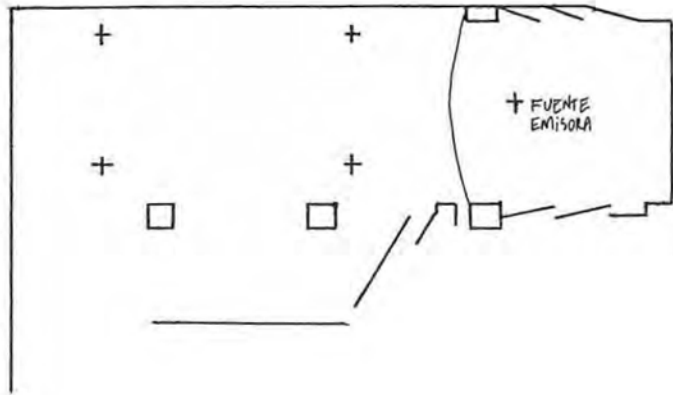


PLANTA ESCALA 1:100

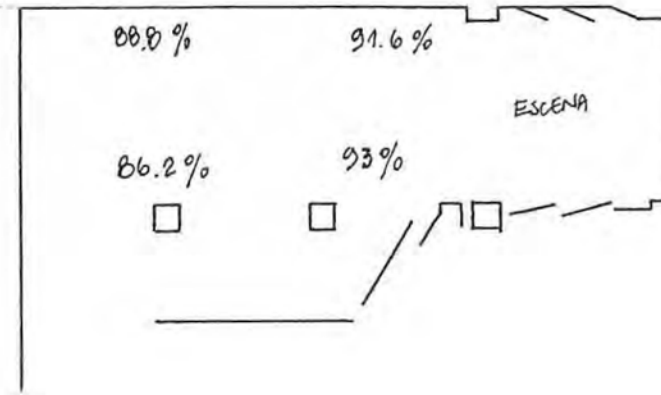


1.3.1. ENSAYO DE INTELIGIBILIDAD.

UBICACION OBSERVADORES



PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD EN CADA PUNTO



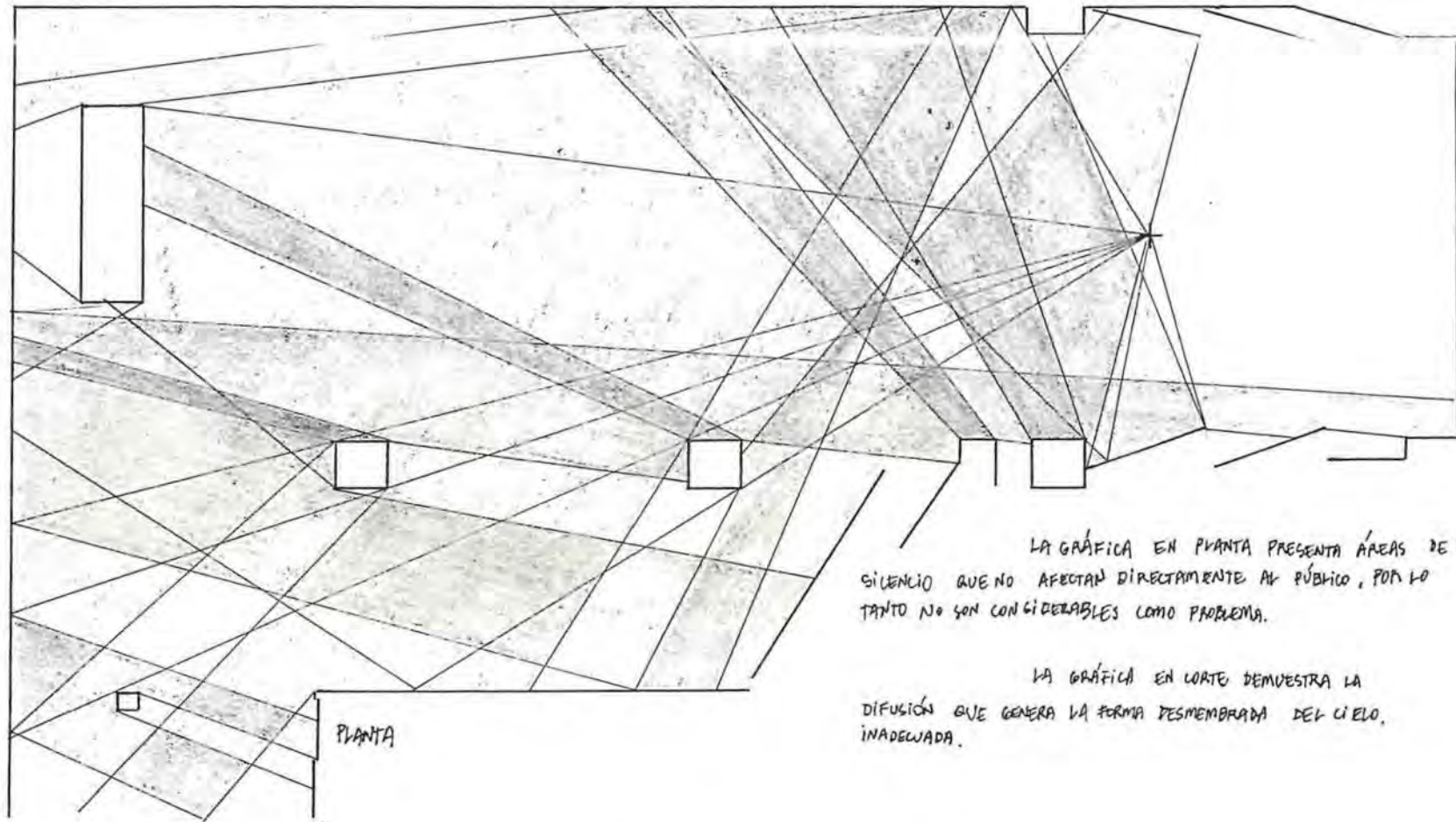
PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD DE LA SALA : 89,9%
(PROMEDIO)



INTELIGIBILIDAD MUY BUENA

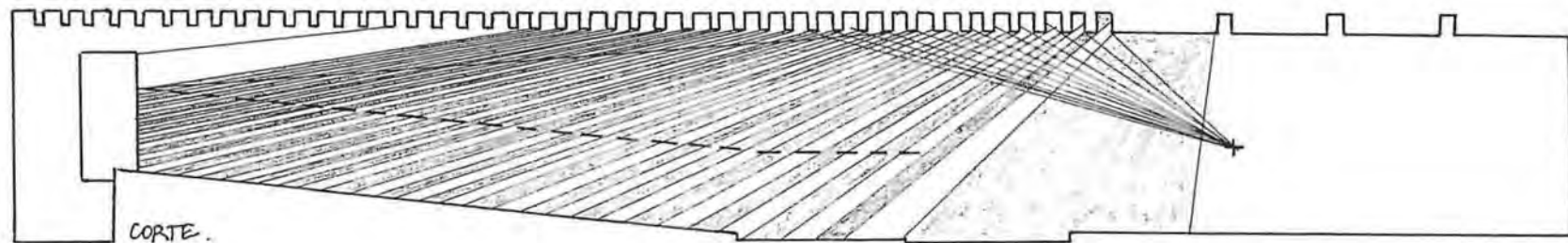
1.3.2. ACÚSTICA GRÁFICA.

1.3.2.1. GRÁFICA DE LAS REFLEXIONES.

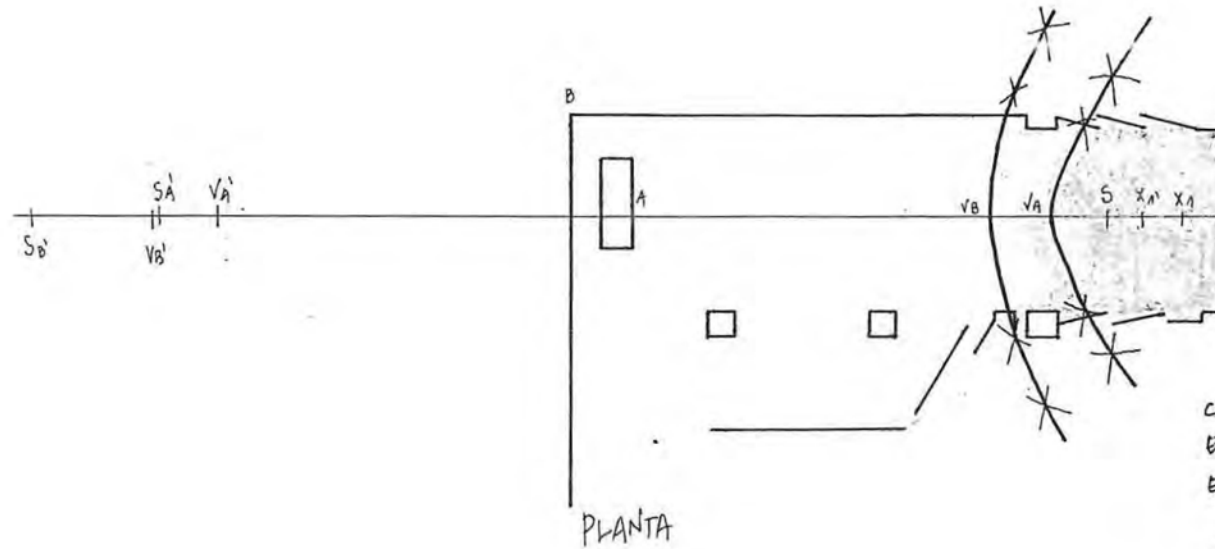


LA GRÁFICA EN PLANTA PRESENTA ÁREAS DE SILENCIO QUE NO AFECTAN DIRECTAMENTE AL PÚBLICO, POR LO TANTO NO SON CONSIDERABLES COMO PROBLEMA.

LA GRÁFICA EN CORTE DEMUESTRA LA DIFUSIÓN QUE GENERA LA FORMA DESMEMBRADA DEL CIELO, INADECUADA.

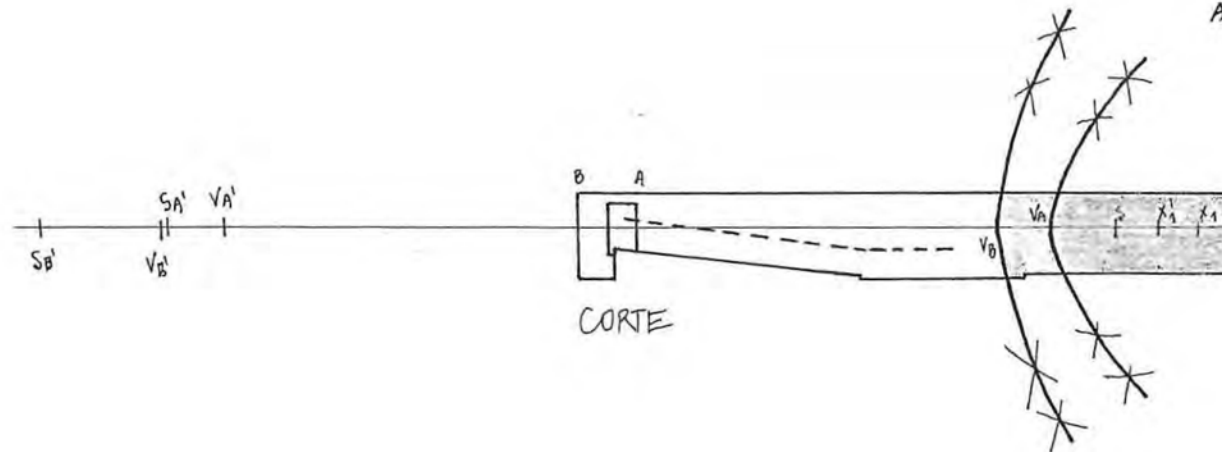


1.3.2.2. GRÁFICA EXISTENCIA DE ECOS.



SITUANDO EL FOCO SONORO EN EL CENTRO DE LA ESCENA, SE VERIFICA LA EXISTENCIA DE ECO PRODUCIDA POR LOS MUROS DEL FONDO. ESTE ECO SE PRODUCE EN LA ZONA DE LA ESCENA.

AÚN ASÍ, ES RECOMENDABLE HACER ESTOS MUROS ABSORBENTES CONSIDERANDO QUE AL SITUARSE UNA EVENTUAL FUENTE EN EL FONDO DE LA ESCENA SE PODRÍA PRODUCIR EL DEFECTO Y AFECTAR A LAS PRIMERAS FILAS.

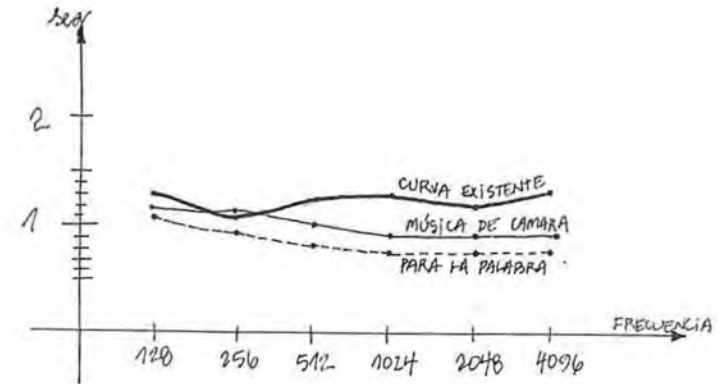


1.3.3. CÁLCULO CONDICIONES DE ABSORCIÓN. CASO 3 TEATRO EL FAROL.

UNIDAD SUPERFICIE		ENTABLAZO PISO	CUBREPISO	SUELO LEVANTADO AFERRADO CON TIERRA FLOJA	PAREDES ALB. PIEDRA	ALFARILLERÍA LAB. ESTUCADO	ALFARILLERÍA LAB. SIN ESTUCAR	BASTIDORES DE MAD. COPI, CHOLGUILIN	BASTIDOR DE MADERA CON TELA	PLACAS / TAB. ACOPLADA	PANELES DE MADERA.		RUBILO EN ASIENTO. TAPIZADOS	BUTACAS MADERA CON ASIENTO TITANIO	VALORES EXISTENTES	
S = m ²		94.6	25.6	70.9	111.5	30	44.9	53.4	20.1	78.2	104		58	58	A	Mg
128 Hz	a	0.09	0.09	0.01	0.02	0.013	0.024	0.25	0.03	0.25	0.08		0.3	0.06		
	S x a	8.51	2.3	0.71	2.23	0.39	1.08	13.35	0.6	19.55	8.32		17.4	3.48	77.92	1.27
256 Hz	a	0.09	0.08	0.01	0.02	0.013	0.024	0.34	0.04	0.34	0.08		0.35	0.08		
	S x a	8.51	2.05	0.71	2.23	0.39	1.08	18.16	0.8	26.59	8.32		20.3	4.64	93.78	1.06
512 Hz	a	0.08	0.21	0.02	0.03	0.025	0.003	0.18	0.11	0.18	0.06		0.42	0.1		
	S x a	7.57	5.38	1.42	3.35	0.75	0.13	9.61	2.21	14.08	6.24		24.36	5.0	80.9	1.22
1024 Hz	a	0.09	0.26	0.02	0.04	0.025	0.003	0.1	0.17	0.10	0.06		0.46	0.12		
	S x a	8.51	6.66	1.42	4.46	0.75	0.13	5.34	3.41	7.82	6.24		26.68	6.96	78.38	1.26
2048 Hz	a	0.1	0.27	0.02	0.05	0.04	0.049	0.1	0.24	0.10	0.06		0.48	0.12		
	S x a	9.46	6.91	1.42	5.58	1.2	2.2	5.34	4.82	7.82	6.24		27.84	6.96	85.79	1.15
4096 Hz	a	0.07	0.37	0.01	0.07	0.04	0.049	0.06	0.35	0.06	0.06		0.4	0.12		
	S x a	6.62	9.47	0.71	7.81	1.2	2.2	3.2	7.04	4.69	6.24		23.2	6.96	79.34	1.25

1.3.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, EXISTENTE Y ÓPTIMAS.
CASO 3 TEATRO EL FAROL

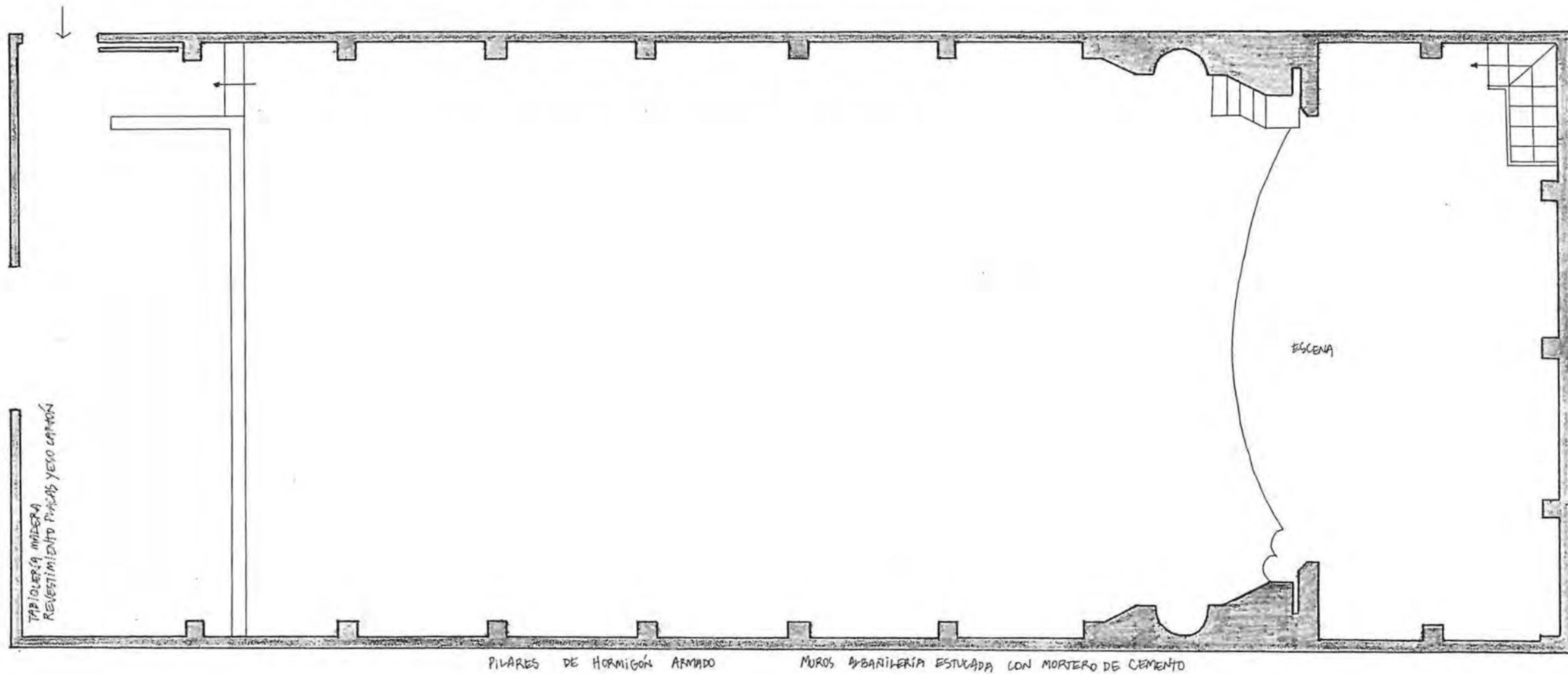
	TIEMPO REV. EXISTENTE	TIEMPO ÓPTIMO PARA LA PALABRA	TIEMPO ÓPTIMO PARA MÚSICA DE CÁMARA
	1.07	1.07	1.07
128 Hz	1.27	$0.8 \times 1.7 = 1.04$	$1 \times 1.15 = 1.15$
256 Hz	1.06	$0.8 \times 1.15 = 0.92$	$1 \times 1.1 = 1.1$
512 Hz	1.22	$0.8 \times 1 = 0.8$	$1 \times 1 = 1$
1024 Hz	1.26	$0.8 \times 0.9 = 0.72$	$1 \times 0.9 = 0.9$
2048 Hz	1.15	$0.8 \times 0.9 = 0.72$	$1 \times 0.9 = 0.9$
4096 Hz	1.25	$0.8 \times 0.9 = 0.72$	$1 \times 0.9 = 0.9$

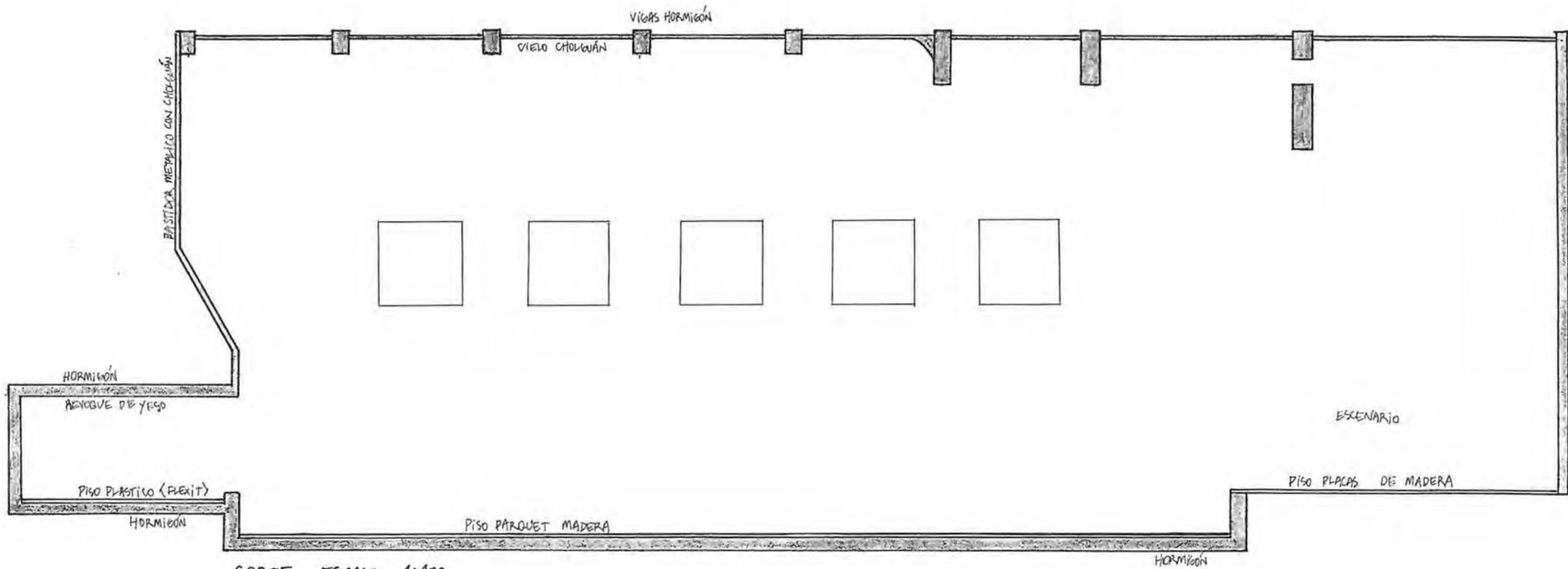


EN ESTE CASO LA CURVA EXISTENTE ES BASTANTE MÁS CERCANA A LAS ÓPTIMAS, PERO SE ELEVA JUSTAMENTE EN LAS FRECUENCIAS ALTAS, EN LAS CUALES ES MÁS NECESARIA LA CONTENCIÓN DE LA REVERBERACIÓN.

1.4. CASO 4 : "TEATRO MAURI"

AFORO 300 personas VOLUMEN 2705,88 m³

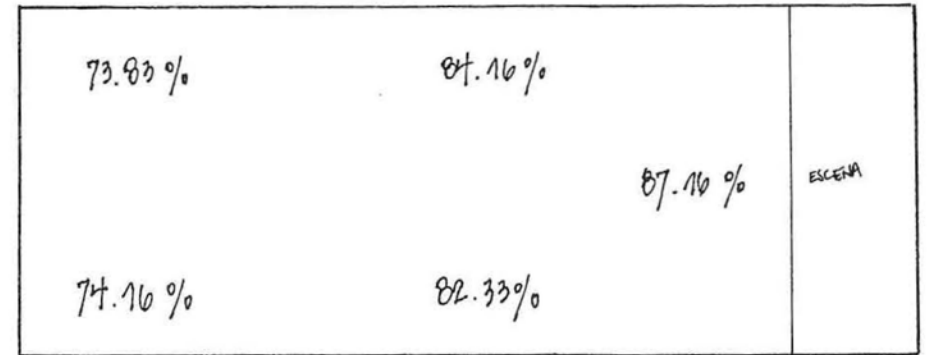
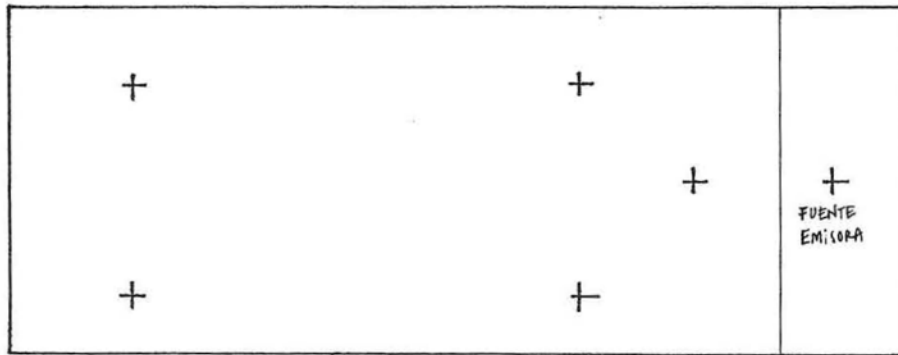




CORTE ESCALA 1:100.

1.4.1. ENSAYO INTELIGIBILIDAD.

UBICACIÓN OBSERVADORES



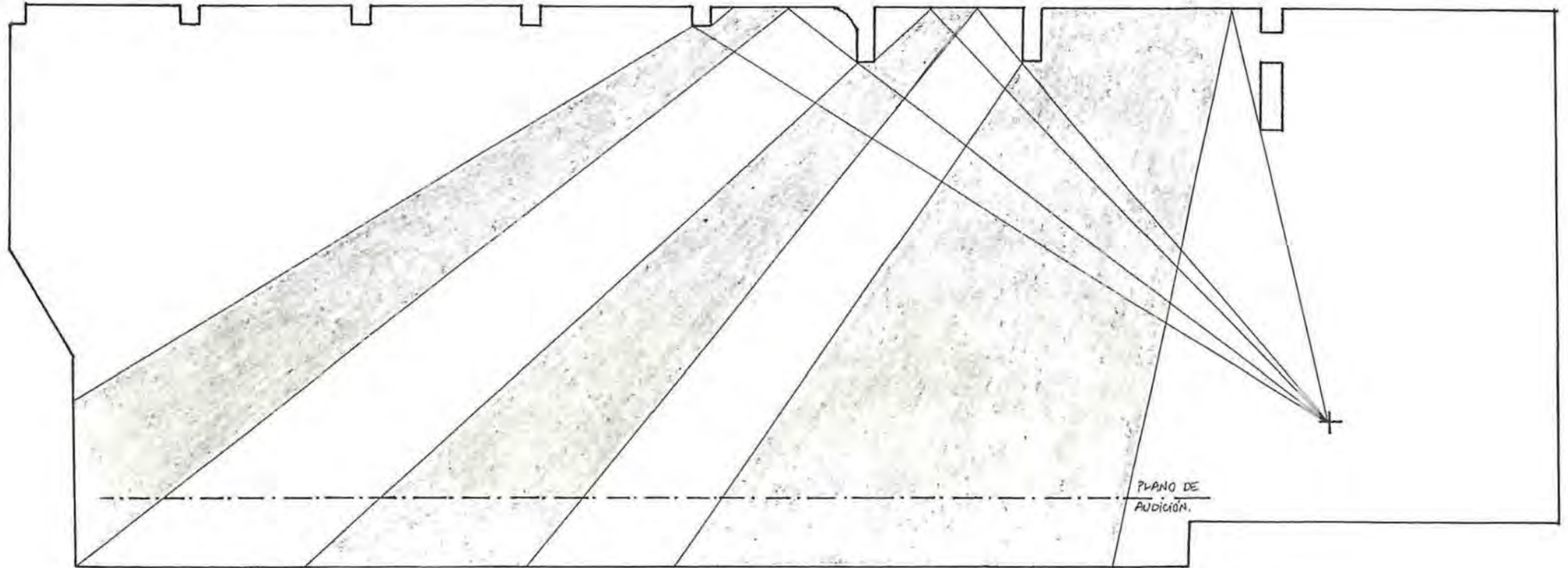
PORCENTAJE INTELIGIBILIDAD : 80.32 %
(PROMEDIO)



INTELIGIBILIDAD REGULAR.

1.4.2. ACÚSTICA GRÁFICA.

1.4.2.1. GRÁFICA DE LAS REFLEXIONES.

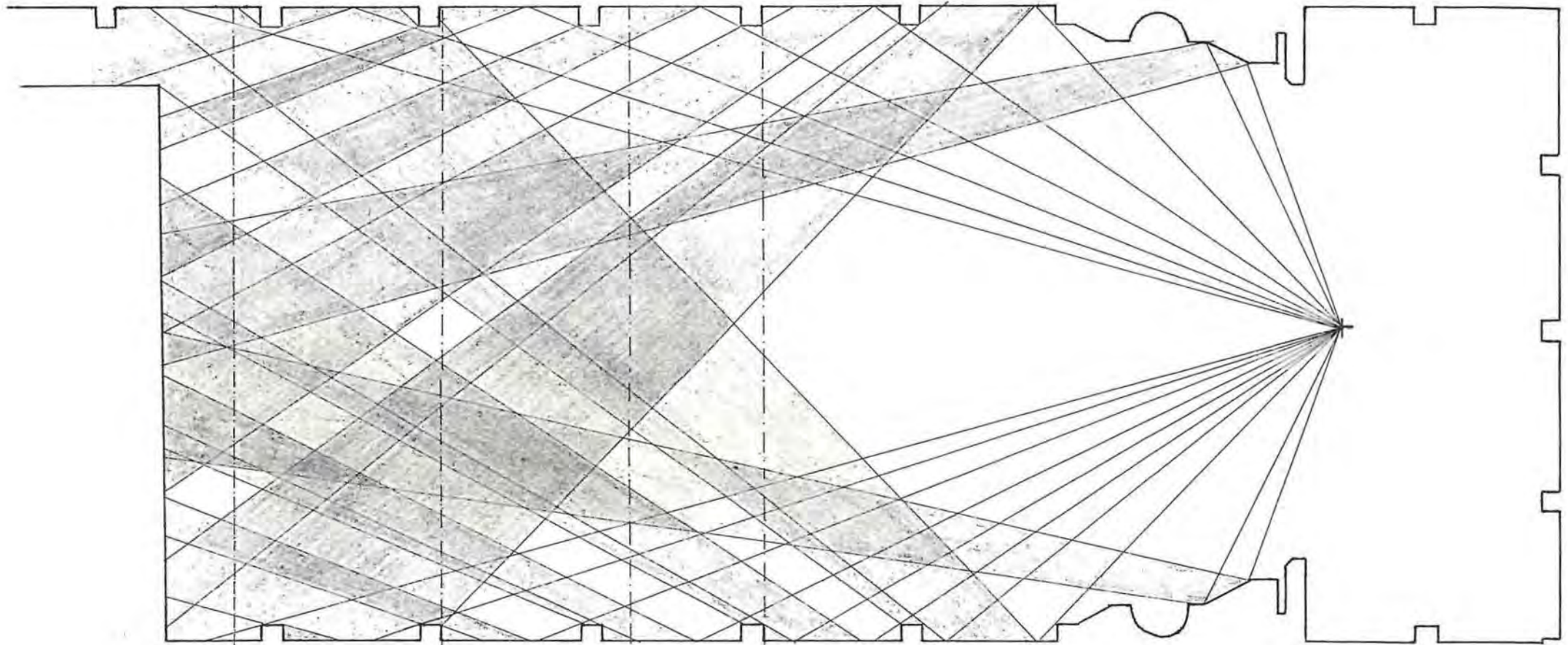


CORTE 1:100

LA GRÁFICA EN CORTE PERMITE RECONOCER LA EXISTENCIA DE ÁREAS ALEJADAS DEL FOCO (NO CUBIERTAS CON GRIS), QUE NO RECIBEN REFLEXIÓN. LO QUE VUELVE A APARECER EN LA PLANTA DE LAS REFLEXIONES Y SE AGRAVA AL HACER LA SUPERPOSICIÓN.

ESTA SITUACIÓN MANIFIESTA ZONAS DE SILENCIO Y UNA DIFUSIÓN DEFECTUOSA DEL SONIDO, QUE DEJARÍA A CIERTOS OYENTES EN SITUACIÓN DESVENTAJOSA RESPECTO DE OTROS QUE RECIBEN MÚLTIPLES REFLEXIONES.

LA CAUSA PRINCIPAL DE ESTA SITUACIÓN ACÚSTICA, ES LA EXISTENCIA DE SUPERFICIES DISCONTINUAS TANTO EN MURD LATERALES COMO EN EL CIELO.

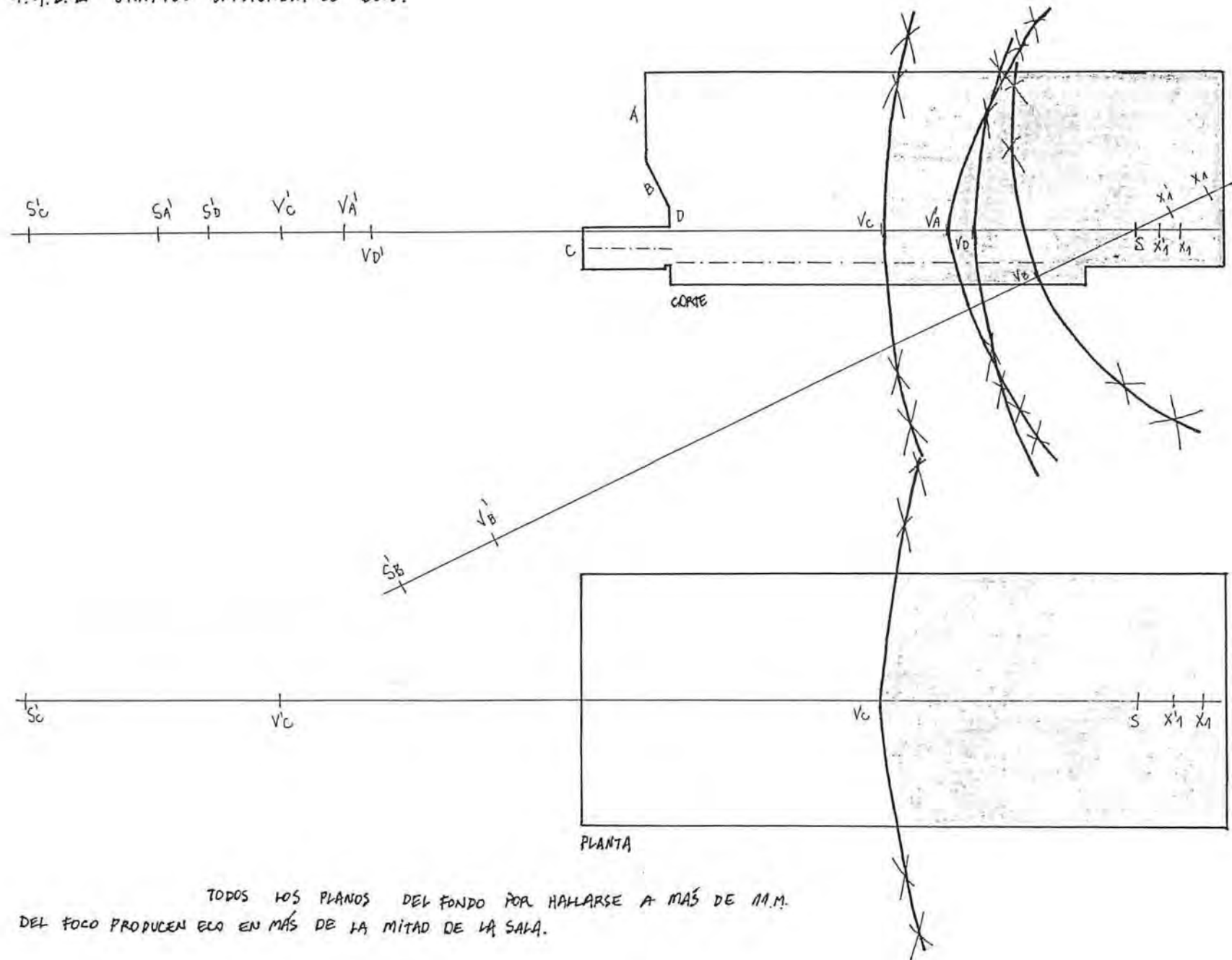


ÁREA SIN REFLEXIÓN
EN CORTE

ÁREA SIN
REFLEXIÓN EN
EL CORTE

PLANTA 1:100

1.4.2.2 GRÁFICA EXISTENCIA DE ECOS.



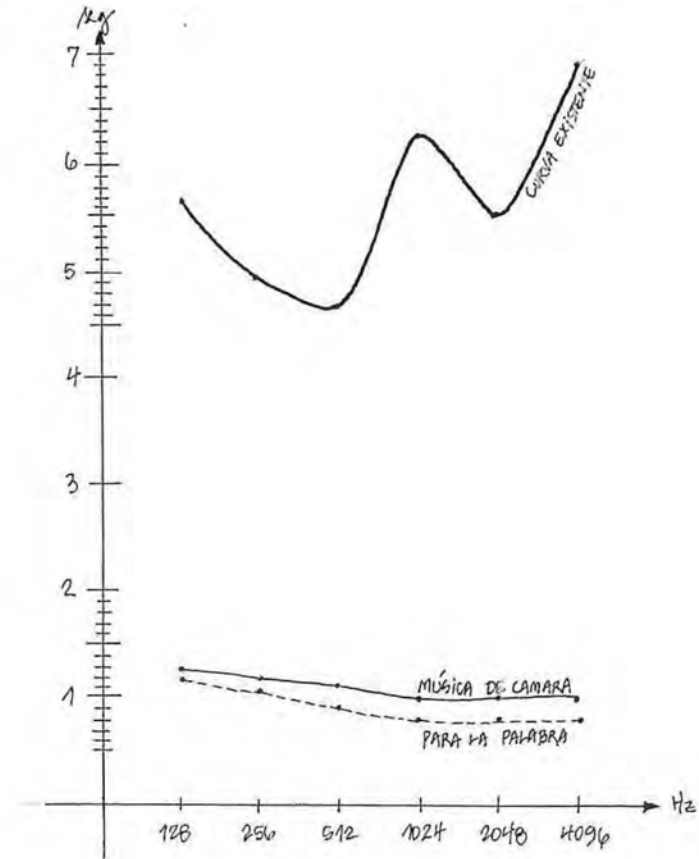
1.4.4. CÁLCULO CONDICIONES DE ABSORCIÓN.

CASO 4 : TEATRO MAURI.

CLASE SUPERFICIE		PARQUET SOBRE PISO	ENTARIMADO MADERA	PISO PLÁSTICO (S.FLEXITY)	PIREXES AL-B. LADRILLO CON ESTUCCO CEMENTO	VIDRIOS VENTANA	REVEST. ENTABLADO MADERA (5 mm)	REVEST. CHOLONAN	CIELO REVEST. / CHOLONAN.	CIELO VIGAS DE HORMIGÓN	PILARES DE HORMIGÓN	TABICUERÍA VOLCANITA	VANO	PUB-LICO EN ASIENTO TAPIADO	BUTACAS MAD. CON ASIENTO TAPIADO.	VALORES EXISTENTES	
S = m ²		214.7	69	46.1	505.6	16	25.3	42.6	126.5	136.1	142.9	17.4	5.6	150	150	A	100%
128 Hz	a	0.05	0.09	0.02	0.013	0.04	0.1	0.25	0.25	0.01	0.01	0.02	1	0.3	0.06		
	S x a	10.74	6.21	0.92	6.62	0.64	2.53	10.65	31.63	1.36	1.43	0.35	5.6	45	9	132.68	5.67
256 Hz	a	0.03	0.09	0.02	0.013	0.04	0.11	0.34	0.34	0.01	0.01	0.03	1	0.33	0.08		
	S x a	6.44	6.21	0.92	6.62	0.64	2.78	14.48	43.01	1.36	1.43	0.52	5.6	49.5	12	151.51	4.95
512 Hz	a	0.06	0.08	0.04	0.025	0.03	0.1	0.18	0.18	0.02	0.02	0.04	1	0.38	0.1		
	S x a	12.88	5.52	1.84	12.74	0.48	2.53	7.67	22.77	2.72	2.86	0.7	5.6	57	15	150.31	5.69
1024 Hz	a	0.09	0.09	0.03	0.025	0.03	0.08	0.1	0.1	0.02	0.02	0.05	1	0.46	0.12		
	S x a	19.32	6.21	1.38	12.74	0.48	2.02	4.26	12.65	2.72	2.86	0.87	5.6	69	18	158.14	6.27
2048 Hz	a	0.1	0.1	0.02	0.04	0.02	0.08	0.1	0.1	0.02	0.02	0.05	1	0.39	0.12		
	S x a	21.47	6.9	0.92	20.38	0.32	2.02	4.26	12.65	2.72	2.86	0.87	5.6	58.5	18	157.47	5.5
4096 Hz	a	0.07	0.07	0.02	0.04	0.02	0.11	0.06	0.06	0.01	0.01	0.06	1	0.35	0.12		
	S x a	15.03	4.83	0.92	20.38	0.32	2.78	2.56	7.59	1.36	1.43	1.04	5.6	52.5	18	134.34	6.98

1.4.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, EXISTENTE Y ÓPTIMAS.
CASO 4 TEATRO MAURI.

	TIEMPO REVERB. EXISTENTE	TIEMPO OPTIMO PARA LA PALABRA	TIEMPO OPTIMO PARA MÚSICA DE CAMARA
	1200	1200	1200
128 Hz	5.67	$0.9 \times 1.3 = 1.17$	$1.1 \times 1.15 = 1.27$
256 Hz	4.95	$0.9 \times 1.15 = 1.04$	$1.1 \times 1.1 = 1.21$
512 Hz	5.69	$0.9 \times 1 = 0.9$	$1.1 \times 1 = 1.1$
1024 Hz	6.27	$0.9 \times 0.9 = 0.81$	$1.1 \times 0.9 = 0.99$
2048 Hz	5.5	$0.9 \times 0.9 = 0.81$	$1.1 \times 0.9 = 0.99$
4096 Hz	6.98	$0.9 \times 0.9 = 0.81$	$1.1 \times 0.9 = 0.99$



2. CONCLUSIONES DE LOS 4 CASOS OBSERVADOS.

DE MATERIALES.

CASOS MATERIALES	CASO 1: CENTRO DE EVENTOS U.C.V.	CASO 2: TEATRO VICTORIA	CASO 3: TEATRO EL FAROL	CASO 4: TEATRO MAURÍ	CONCLUSIONES
DE PISO	ALFOMBRADO SOBRE RADIER Es el más recomendable: - evita enmarcamiento por ruidos ajenos. - disminuye a cero los ruidos de impacto de los pasos	ENTABLADO DE PISO SOBRE RADIER - se producen ruidos de impacto por los pasos que resuenan en los huecos.	TARIMA CON CUBRE PISO - resuena al ser hueca la tarima. - el cubrepiso tampoco alcanza a absorber los ruidos propios de la madera.	PARQUET SOBRE RADIER - producen ruidos de impacto "secos" (no resuenan).	1. Los pisos más adecuados son los que no tienen huecos o espacios entre el recubrimiento y el piso sustentante. 2. El alfombrado es una de las terminaciones de piso más adecuadas por ser muy absorbente.
DE MUROS	ALBAÑILERÍA ESTUCADA CON YESO - son fuertemente reflejantes con un tiempo de reverberación muy elevado.	TABICUES REL. CON ADOBE RECUBRIM. PAPIERO CON YESO. - la porosidad del adobe es amolada por el enyesado. (semejante al caso 1)	ALBAÑILERÍA DE PIEDRA - la reflexión de la piedra se disminuye al estar trabajada con cantos irregulares ganando cierta absorción	LADRILLOS ESTUCO DE CEMENTO - altamente reflejante, con una reverberación muy alta.	1. La terminación del muro es la que finalmente determina la reflexión del mismo. 2. Es recomendable utilizar los mat. en bruto evitando las sup. muy lisas que son altamente reflejantes.
DE CIELO	PLANCHAS DE FIBROESTIRENO EXPANDIDO RECUBIENDO CON PASTA LATEX. - para cielo es una buena solución pues tiene una buena reflexión, pero debe ser acompañada de una buena forma.	PLANCHAS DE ASBESTO CEMENTO PINTADO - es menos aconsejable que el caso 1 por la dureza de la placa.	ENVIGADO DE MADERA - la madera no es recomendable como reflejante en el cielo.	ENVIGADO FORRADO CON PLANCHAS DE MADERA Prensada. - semejante caso 3.	1. Los materiales deben emplearse según la reflexión o absorción que se requiera en cada punto.
DE MOBILIARIO	SILLAS DE MADERA CON ASIENTO TAPIZADO. - produce una absorción menor a la de una persona, por tanto la asistencia de público incide en la reverberación de la sala.	SILLAS MADERA CON ASIENTO TAPIZADO semejante caso 1.	BUTACAS DE MADERA semejante caso 1	SIN BUTACAS	Los asientos tapizados son recomendables pues tienen la misma absorción ocupados o vacíos.

DE FORMA.

CASOS FORMA	CASO 1: CENTRO DE EVENTOS U.C.V.	CASO 2: TEATRO VICTORIA	CASO 3: TEATRO EL FAROL	CASO 4: TEATRO MAURÍ	CONCLUSIONES
DE PISO	HORIZONTAL Y LISO - es inadecuado por los espectadores con absorbiendo el sonido respecto a los posteriores.	ENTARIMADO HORIZONTAL - semejante al caso 1.	TARIMA CON PENDIENTE - es favorable al desfogon los espectadores en la vertical, evitando la absorción.	HORIZONTAL Y LISO - semejante al caso 1 y 2	La pendiente es adecuada tanto visual como acústicamente.
DE MUROS	VERTICALES NO SIMÉTRICOS - la pared más alejada del foco sonora eventualmente produce eco en la pared opuesta, al situarse el foco en un extremo de la escena a más de 11 m. - los pilares generan áreas sin reflexión.	VERTICALES DISCONTINUAS - las irregularidades pequeñas generan áreas sin reflexión.	CONTINUO Y DISCONTINUO - los pilares no afectan las reflexiones hacia el público al estar en el límite. - El muro continuo supe al discontinuo. - El predominio del largo produce eco en el escenario.	SIMÉTRICOS La forma paralela genera eco pulsatorio. Las irregularidades generan áreas sin reflexión (muro y pilar desfogados)	Los muros que producen eco deben ser tratados con absorbentes. Se debe evitar el paralelismo para evitar el eco pulsatorio.
DE CIELO	- los plafones inclinados refuerzan la reflexión hacia atrás.	- los rigos producen un seccionamiento de la sala generando un atrás desventajoso.	- El cielo descompuesto es inadecuado por generar reflexiones discontinuas.	- semejante al caso 3.	- En la vertical debe aparecer un todo continuo, llevando el sonido hasta el último espectador.

3. PROPOSICIÓN : ELECCIÓN DE UN CASO PARA LA CORRECCIÓN ACÚSTICA.

La evaluación de los 4 casos anteriores ha permitido conocer la situación acústica en que se encuentra cada uno.

En todos ellos el tiempo de reverberación está muy por encima del deseado, pero aún así el ensayo de inteligibilidad revela una audición aceptable del sonido. Pero, la audición tanto musical como de la palabra requiere de un cierto esfuerzo por parte del usuario.

Ahora, en general, tratándose de salas pequeñas presentan problemas que con un buen diseño podrían haber sido corregidos manteniendo su capacidad.

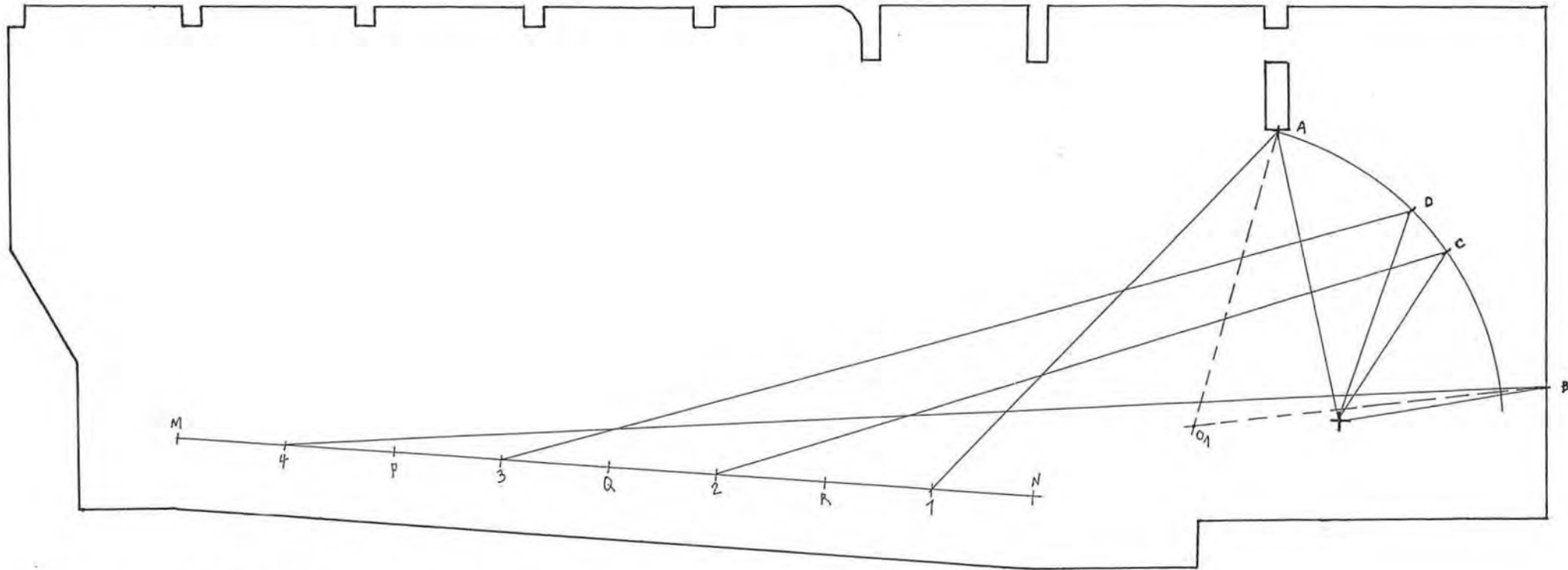
De entre estos casos analizados, aquel que presenta mayor número de dificultades, como un eco totalmente perceptible, una inteligibilidad defectuosa y una curva tonal inaceptable en relación con las óptimas, es el caso 4 que corresponde al TEATRO MAURI. Por ser el que presenta problemas más variados y profundos.

Por lo tanto, en adelante centraré el estudio en este caso para obtener una proposición de corrección.

4. DISEÑO DE SOLUCIONES.

4.1. MÉTODO DE LYON.

4.1.1. EN CORTE.



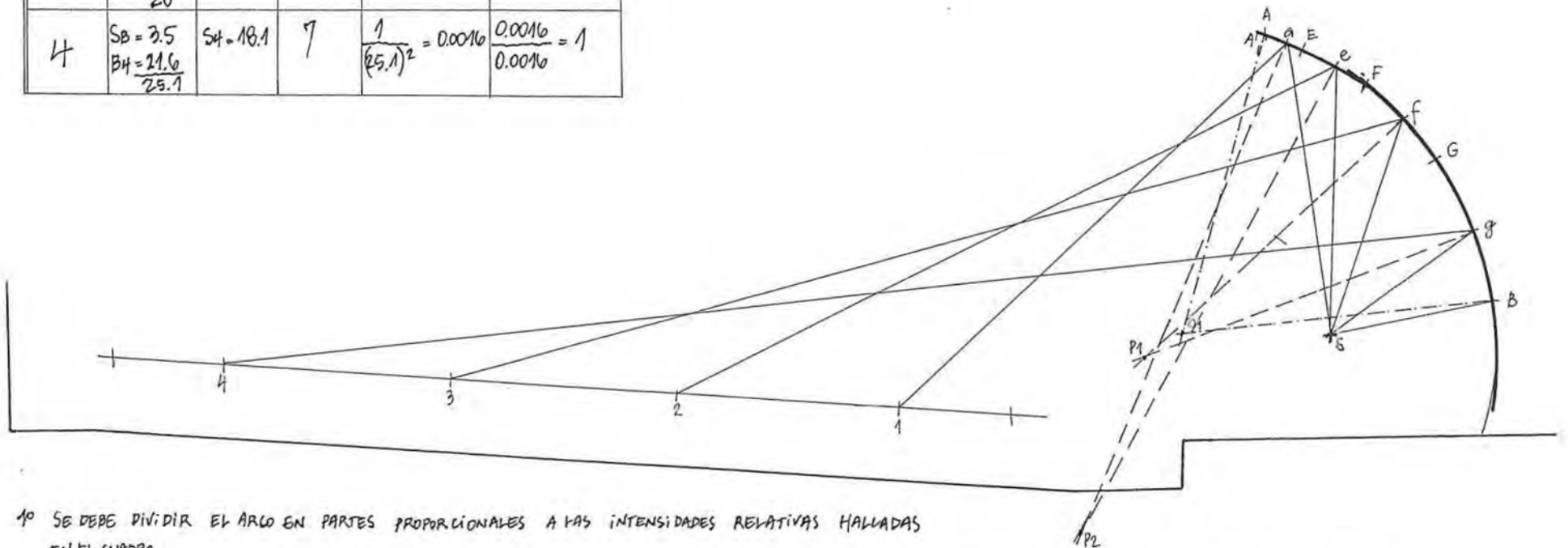
LOCALIZADOS C y D, SE CORRIGEN LAS REFLEXIONES PARA CALCULAR LAS INTENSIDADES RELATIVAS.

CUADRO DE CÁLCULO DE INTENSIDADES RELATIVAS

PUNTO	CAMINO SONIDO REFLEJADO	CAMINO SONIDO DIRECTO	DIFERENCIA	INVERSO DEL CUADRADO CAMINO SONIDO REFLEJADO	INTENSIDADES RELATIVAS
1	$S_A = 5.05$ $A_1 = \frac{8.55}{13.6}$	$S_1 = 7.1$	6.5	$\frac{1}{(13.6)^2} = 0.0054$	$\frac{0.0054}{0.0016} = 3.4$
2	$S_C = 3.4$ $C_2 = \frac{13.1}{16.5}$	$S_2 = 10.7$	5.8	$\frac{1}{(16.5)^2} = 0.0037$	$\frac{0.0037}{0.0016} = 2.3$
3	$S_D = 3.8$ $D_3 = \frac{16.2}{20}$	$S_3 = 14.4$	5.6	$\frac{1}{(20)^2} = 0.0025$	$\frac{0.0025}{0.0016} = 1.6$
4	$S_B = 3.5$ $B_4 = \frac{21.6}{25.1}$	$S_4 = 18.1$	7	$\frac{1}{(25.1)^2} = 0.0016$	$\frac{0.0016}{0.0016} = 1$

El cuadro cumple 2 funciones dentro del procedimiento:

- 1° A través del cálculo de la diferencia del camino del sonido reflejado y el camino del sonido directo, se puede verificar la posible existencia de eco. (si la diferencia es mayor a 22 m, hay eco).
- 2° A través del cálculo de los inversos de los cuadrados de los caminos recorridos por el sonido reflejado en cada punto, obtener las intensidades que nos permitirán dividir el arco en partes proporcionales a ellas.



1° SE DEBE DIVIDIR EL ARCO EN PARTES PROPORCIONALES A LAS INTENSIDADES RELATIVAS HALLADAS EN EL CUADRO.

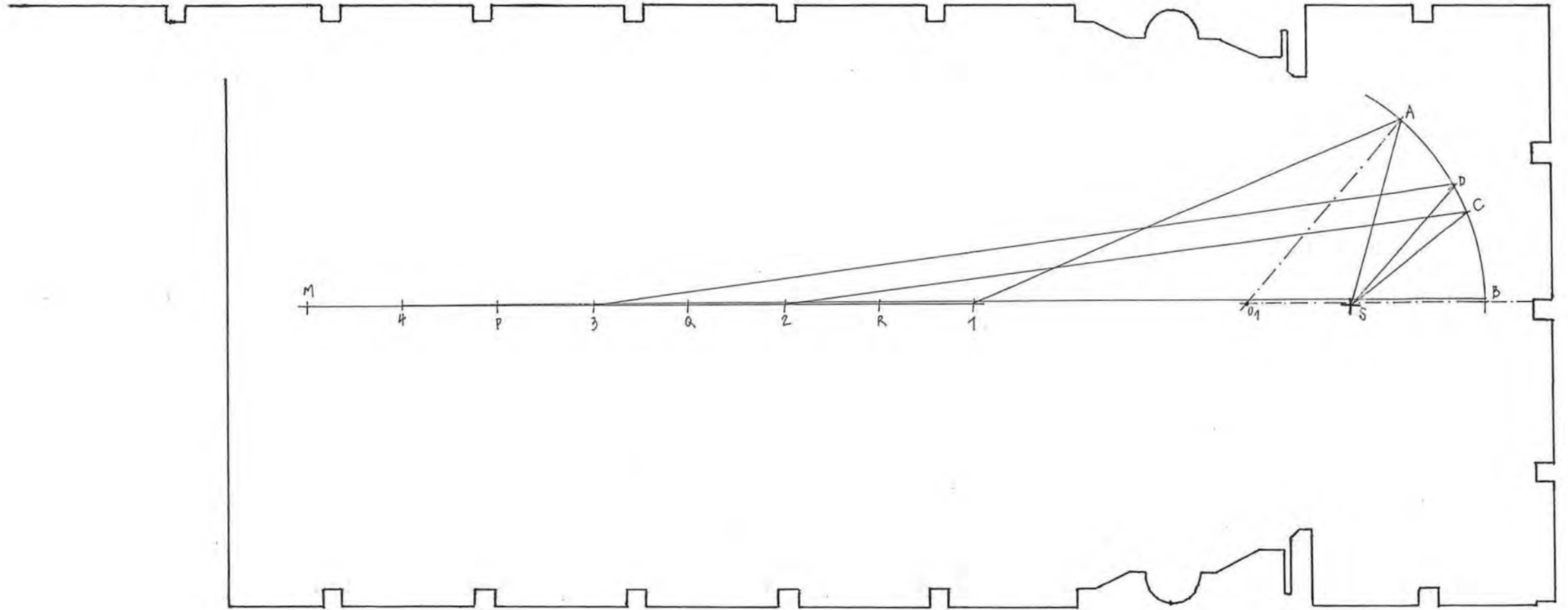
2° DIVIDIENDO EL ARCO EN PARTES PROPORCIONALES A LAS INTENSIDADES RELATIVAS, SURGEN LOS PUNTOS g, f, e, y a.

HALLANDO LAS INTERSECCIONES DE CADA PAREJA CONSECUTIVA DE BISECTRICES. SE TRAZARÁ LA NUEVA ENVOLVENTE.

LA CURVA PROMEDIADA PARA LOS ARCOS BF Y FA' COINCIDE CON LA PRIMERA ENVOLVENTE BUSCADA, SERÁ ELLA MISMA

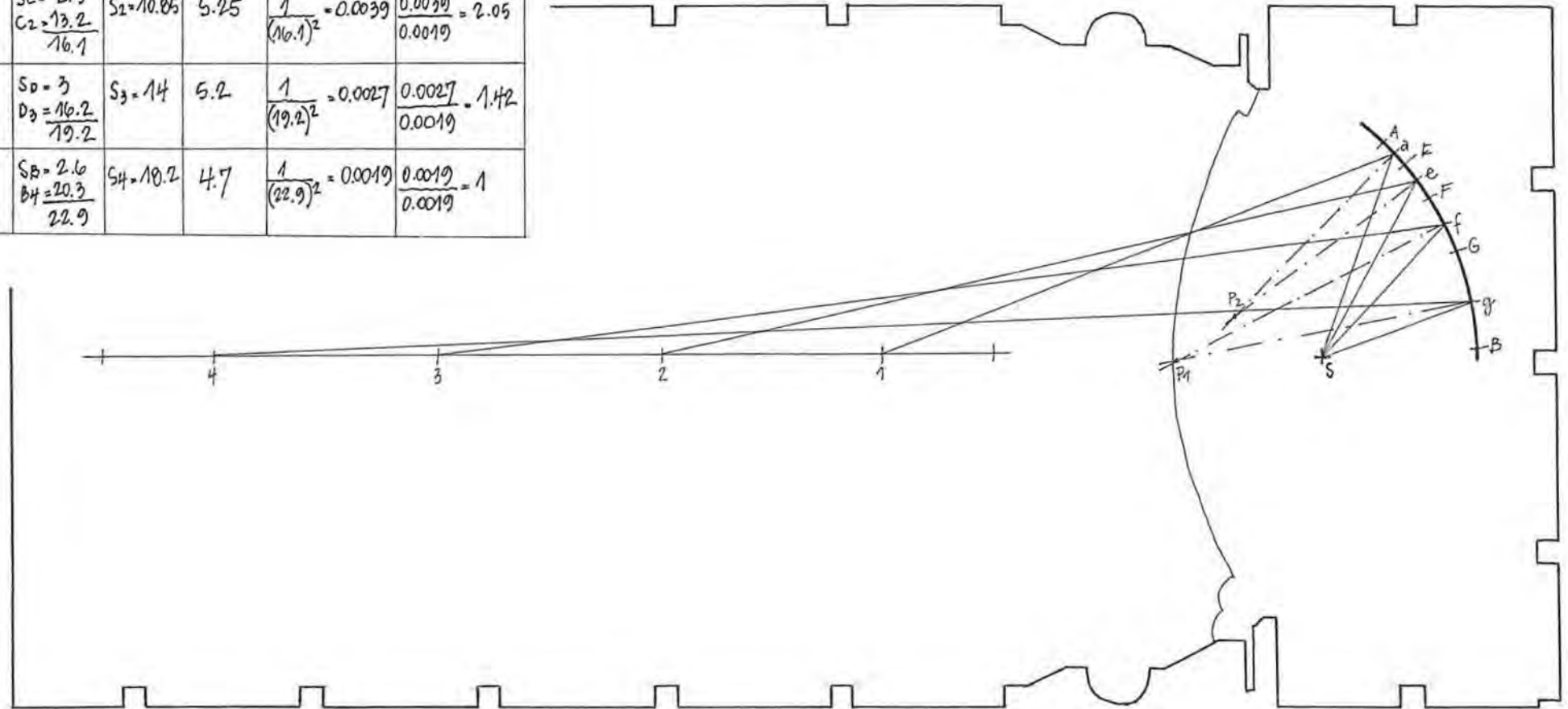
(NO ES NECESARIO VOLVER A REPETIR EL PROCEDIMIENTO.)

4.1.2. EN PLANTA .



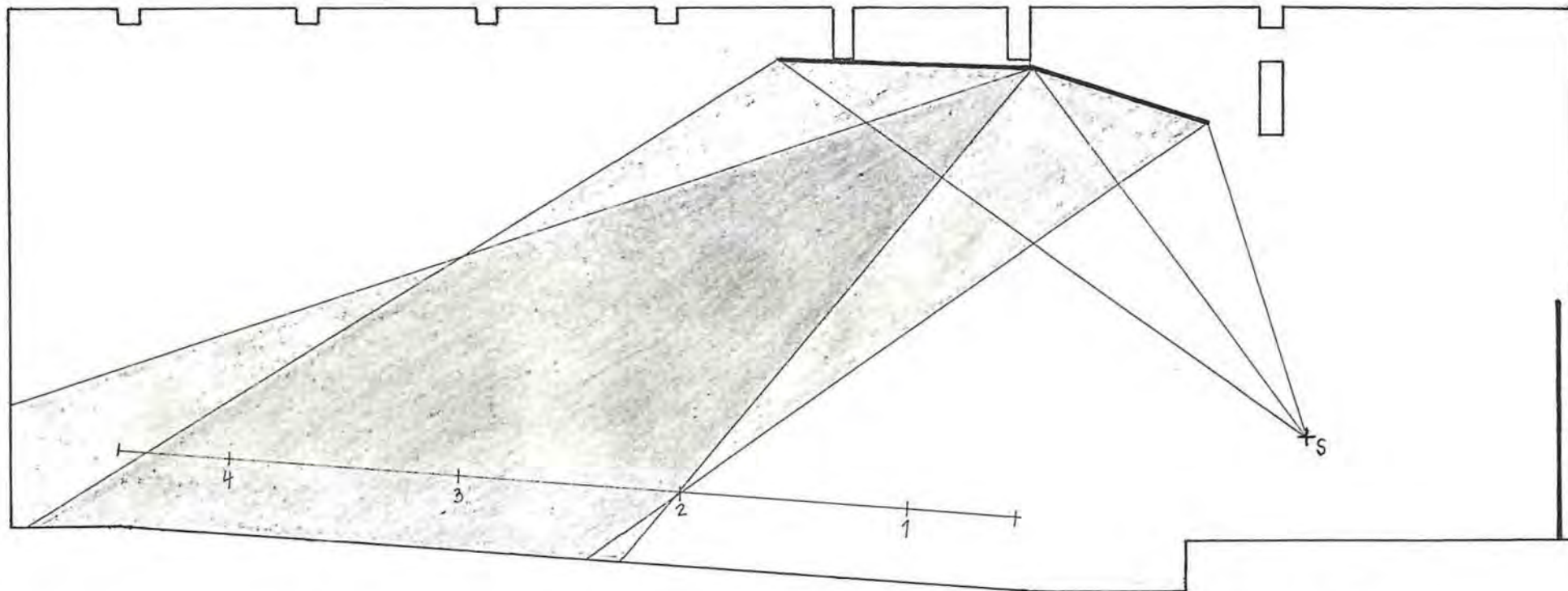
CUADRO CÁLCULO INTENSIDADES RELATIVAS

PUNTO	CAMINO SONIDO REFLEJADO	CAMINO SONIDO DIRECTO	DIFERENCIA	INVERSO DEL CUADRADO CAMINO SONIDO REFLEJADO	INTENSIDADES RELATIVAS
1	$S_A = 3.15$ $A_1 = \frac{8.9}{12.05}$	$S_1 = 7.2$	4.85	$\frac{1}{(12.05)^2} = 0.0069$	$\frac{0.0069}{0.0019} = 3.63$
2	$S_C = 2.9$ $C_2 = \frac{13.2}{16.1}$	$S_2 = 10.85$	5.25	$\frac{1}{(16.1)^2} = 0.0039$	$\frac{0.0039}{0.0019} = 2.05$
3	$S_D = 3$ $D_3 = \frac{16.2}{19.2}$	$S_3 = 14$	5.2	$\frac{1}{(19.2)^2} = 0.0027$	$\frac{0.0027}{0.0019} = 1.42$
4	$S_B = 2.6$ $B_4 = \frac{20.3}{22.9}$	$S_4 = 18.2$	4.7	$\frac{1}{(22.9)^2} = 0.0019$	$\frac{0.0019}{0.0019} = 1$



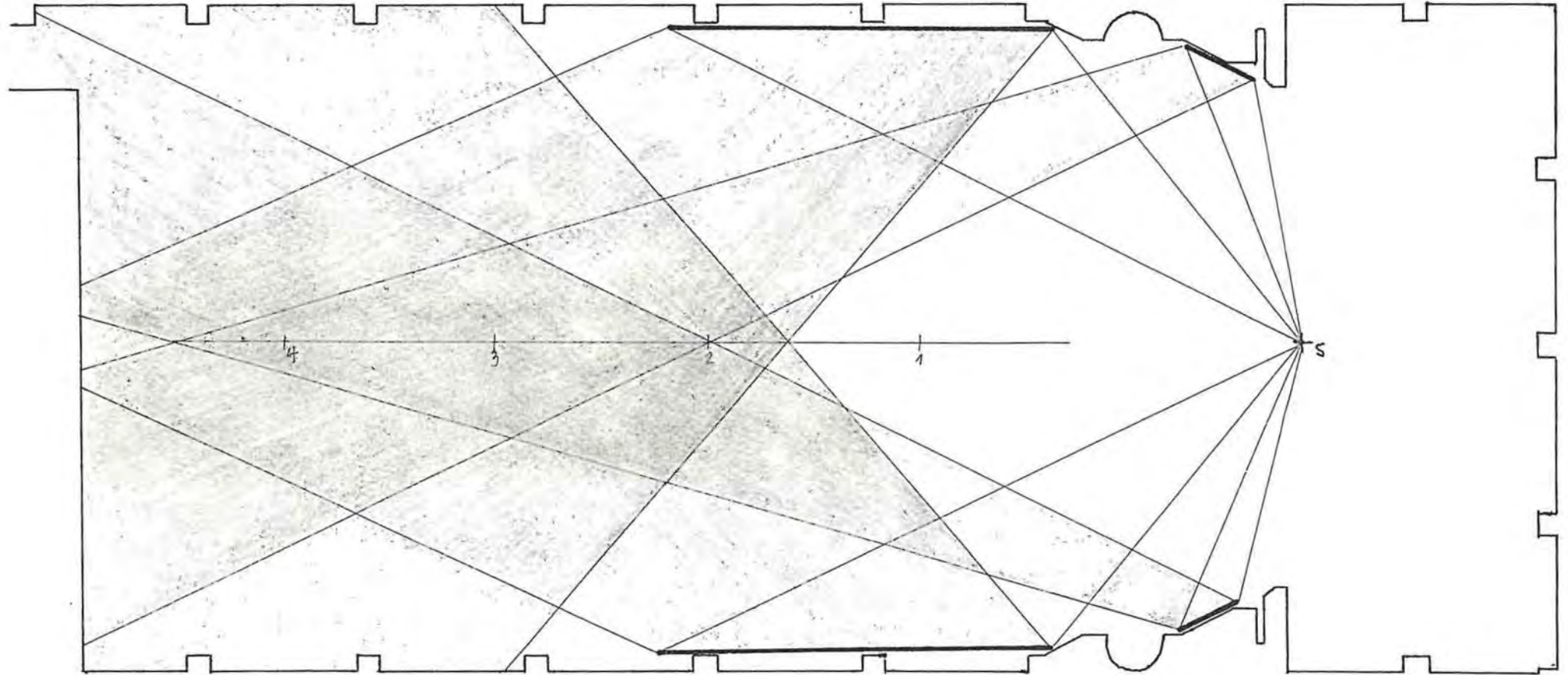
4.2. MÉTODO DE LAS REFLEXIONES SUCEŚIVAS.

4.2.1. EN CORTE.



EL MÉTODO USADO SERÁ EL DE LAS REFLEXIONES SUCEŚIVAS POR NO PRESENTAR DISMINUCIÓN DE ESPACIO Y POR SER DE MÁS FACIL CONSTRUCCIÓN. BENEFICIOS QUE NO PRESENTA LA PANTALLA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE LYON, QUE SIENDO CURVA ES DE MÁS DIFÍCIL EJECUCIÓN, QUE DISMINUYE EL ESPACIO DEL ESCENARIO Y ADEMÁS NO SE ADAPTA A CUALQUIER REPRESENTACIÓ COMO, POR EJEMPLO, EL TEATRO.

4.2.2. EN PLANTA.



5. CORRECCIÓN ACÚSTICA.

5.1. ESPECIFICACIÓN DE LAS CORRECCIONES.

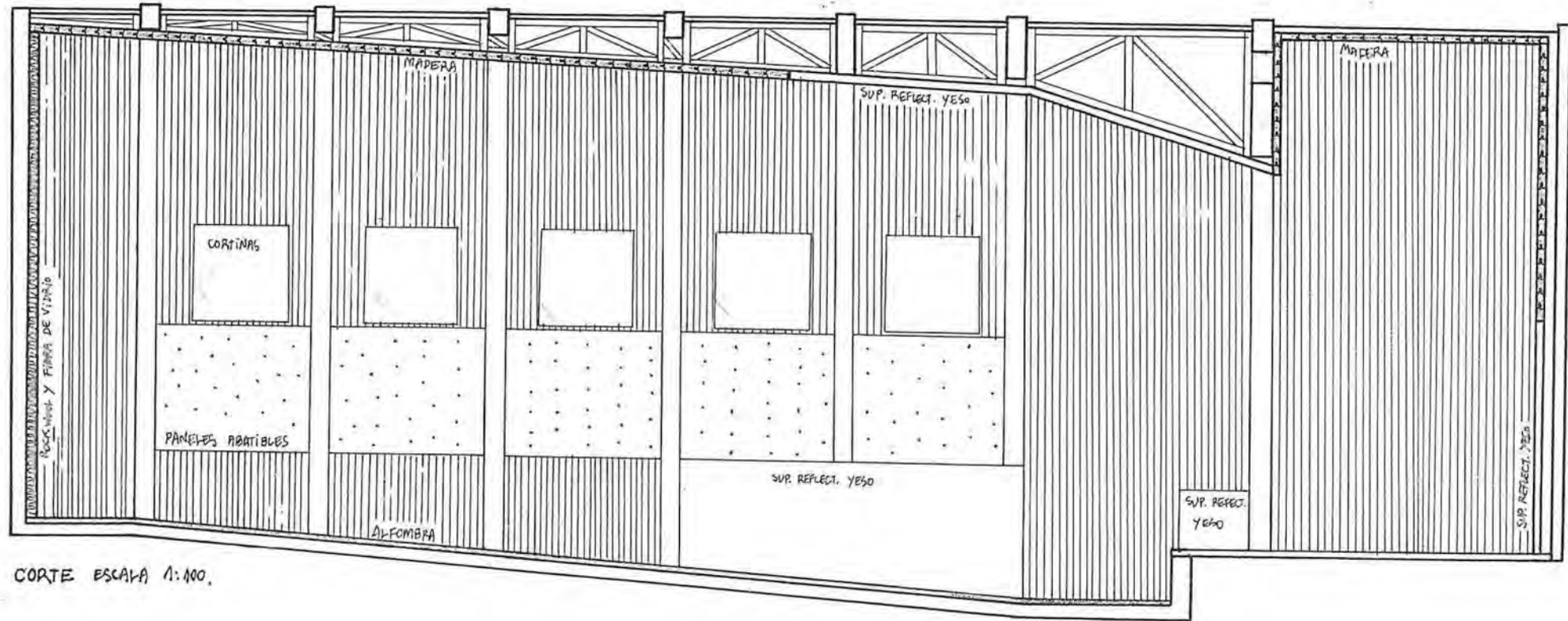
Según el análisis efectuado (pág. 54) se concluye como diagnóstico:

- A. La forma del local no es adecuada.
- B. Existencia de eco producida por la pared del fondo.
- C. Alta reverberación (con la consiguiente inteligibilidad deficiente).

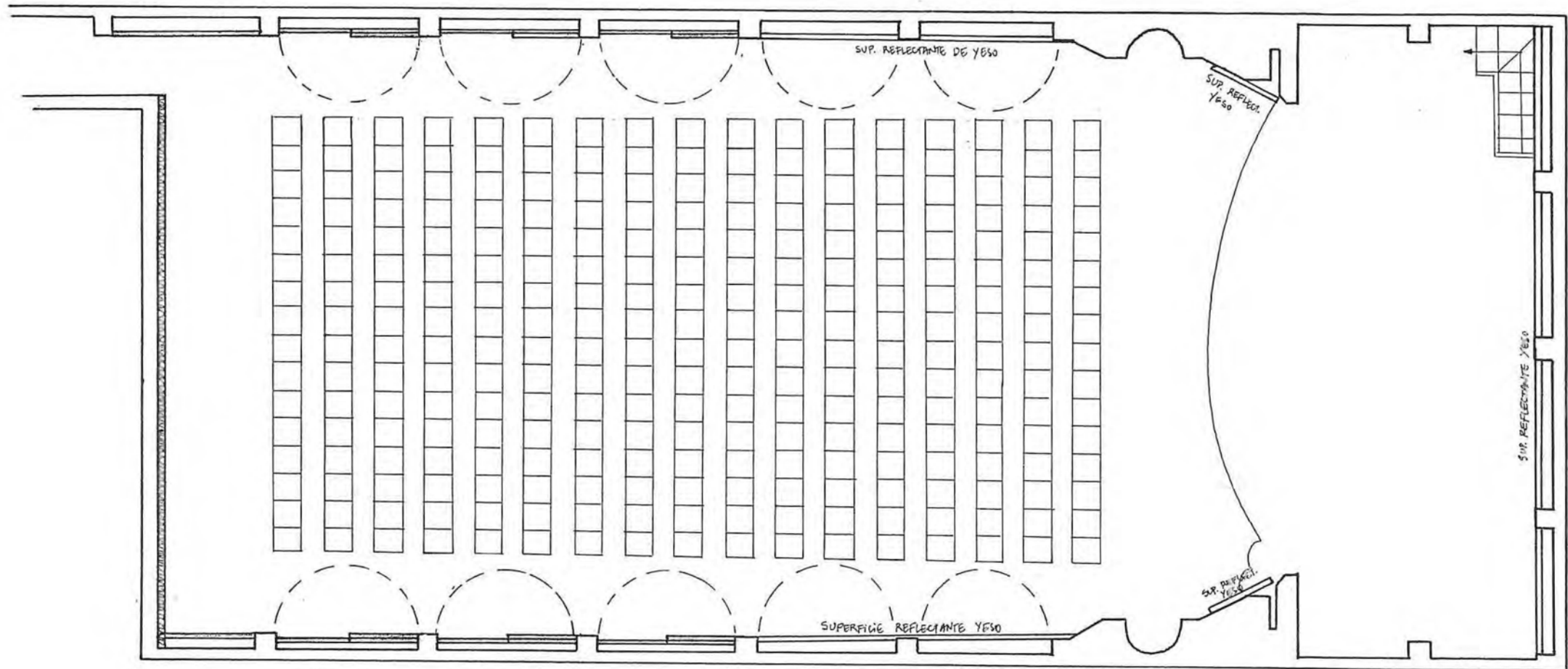
- A.
 - A.1. REFORZAR EL SONIDO A LA PARTE POSTERIOR DE LA SALA: mediante superficies reflectantes (según fig. pág. 67) utilizando placas de yeso, los cuales presentan máxima reflexión a las frecuencias medias y bajas. Las placas son de 0.8 cm. de espesor y malla interior de estopa, que les confiere flexibilidad.
 - A.1.1. EN LOS MUROS LATERALES: se dispondrán cubriendo el "plano de audición", según la inclinación que muestra la planta (pág. 66), desde el suelo hasta 1.8 m, fijados por medio de tabiquerías entre pilares.
 - A.1.2. EN EL CIELO: se disponen 2 planos de muro a muro con la inclinación que muestra el corte (pág. 67), suspendidos de las vigas.
 - A.2. OBTENER REFLEXIONES EN EL ESCENARIO: que permitan a los ejecutantes escucharse mediante una superficie de 3.9 m de altura, de muro a muro, utilizando la misma placa de yeso, fijadas a tabiquería de madera.
 - A.3. Obtener una audición uniforme para todos los espectadores, mediante la inclinación del piso (7% de pendiente). Más la colocación de alfombra (forada en fieltro 12 mm.) aumentando la absorción y evitando el ruido de los pasos.
- B. MEJORAR CONSIDERABLEMENTE LA ABSORCIÓN DE LA PARED DEL FONDO: construyendo un muro de alambillería, cubierta con placas de fibra mineral (ROCK WOOL 1.5 cm de espesor, perforado), separado a 5 cm. del muro de alambillería por la tabiquería y rellena con fibra de vidrio (3 mm de espesor). Obteniendo así una absorción que elimina el eco.
- C.
 - C.1. ADECUAR Y VARIAR LA REVERBERACIÓN SEGÚN 2 USOS: que son MÚSICA DE CÁMARA y LA PALABRA. Por medio de paneles abatibles. Con una cara de madera y otra de fibra mineral (según detalle pág. 71).
 - C.1.1. PARA LA MÚSICA DE CÁMARA: se dispone revestimiento de madera (pág. 71) de 15 mm de espesor barnizada y con 5 cm. de cámara de aire.
 - En el cielo la superficie restante, con la inclinación señalada en la pág. 71, manteniendo la continuidad del plano del cielo.

- En los laterales: entre pilares según detalle (pág. 75)
 - En el escenario: en las superficies restantes de la conexión A2 (muros laterales y cielo.)
- C.1.2. PARA LA PALABRA: se abatirán los paneles en su posición absorbente, o sea por la cara de la fibra mineral.
- C.2. COLOCACIÓN DE BUTACAS TAPIZADAS que aumentan la absorción y disminuyen la diferencia de reverberación entre sala vacía o llena.
- C.3. COLOCACIÓN DE CORTINAS DE TELÓN Y VENTANAS mejorando la absorción (tejido de 610 g/m²), funciolo con un incremento del 50% de la superficie aparente.

5.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS CORRECCIONES.

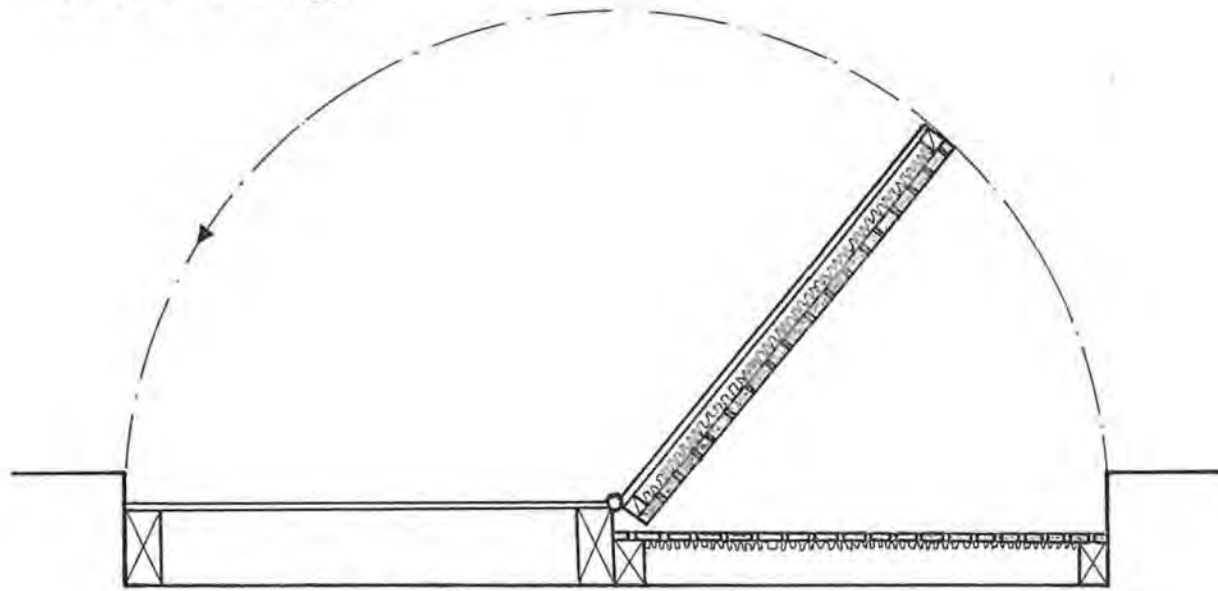


CORTE ESCALA 1:100.

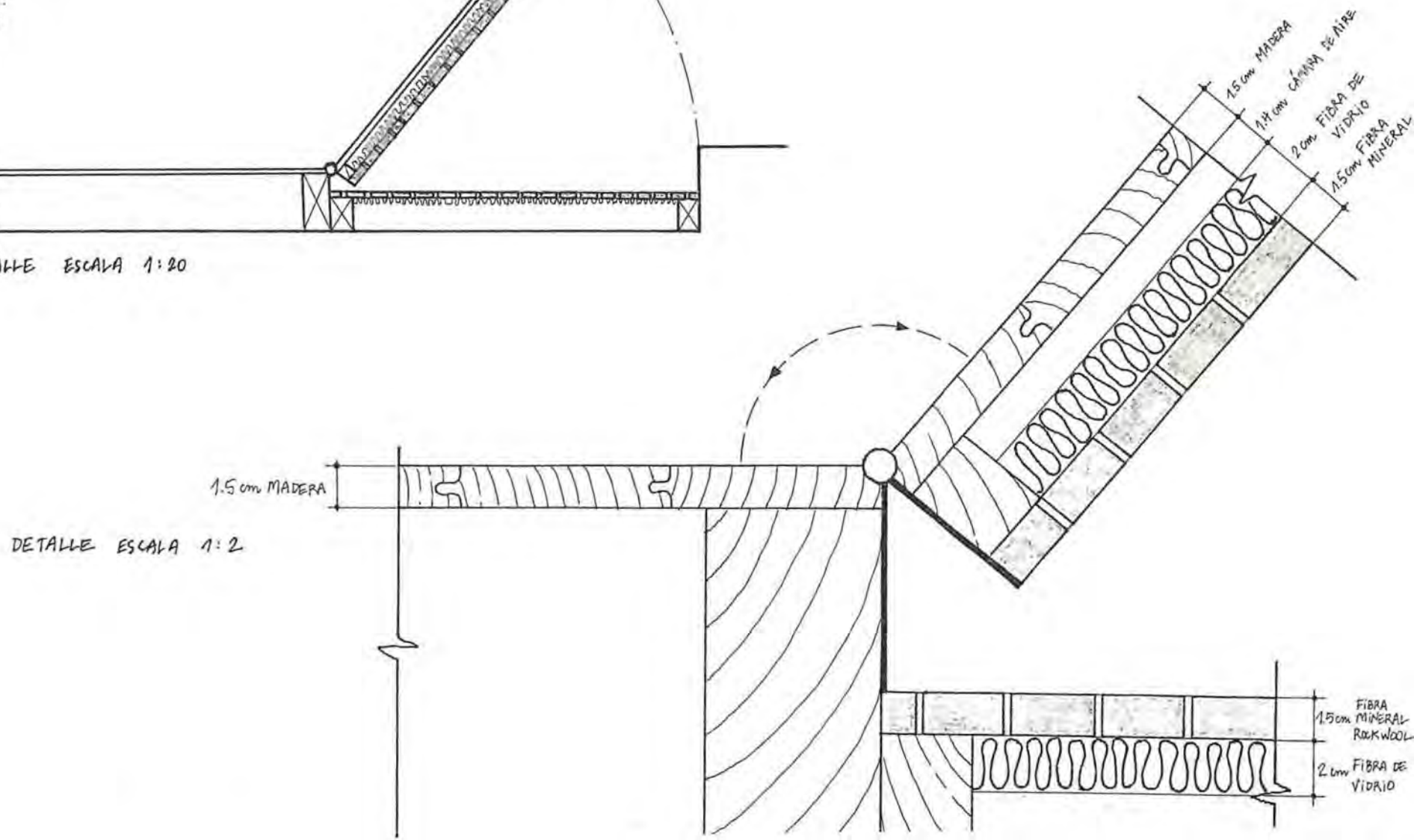


PLANTA ESCALA 1:100.

5.2. DETALLES.



DETALLE ESCALA 1:20



DETALLE ESCALA 1:2

1.5 cm FIBRA MINERAL
ROCKWOL
2 cm FIBRA DE
VIDRIO

5.3. CÁLCULO ABSORCIÓN Y REVERBERACIÓN OBTENIDA.

5.3.1. PARA MÚSICA DE CÁMARA.

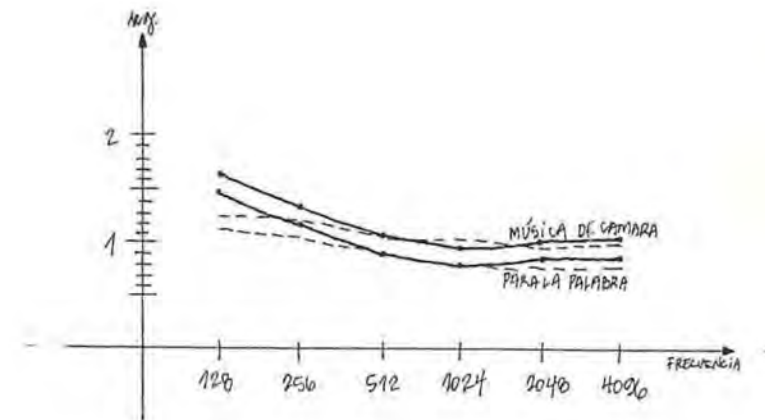
CLASE DE SUPERFICIE		ENTABLADO ESCENARIO	CORTINAS	ALFOMBRAS	SUP. RERECT. YESO	TEJÓN	PARED FONDO FIBRA MINERAL	IDEM. FIBRA DE VIDRIO	REVEST. MADERA	PILARES HORMIGÓN	BUTACAS TAPIZADAS	MITAD PUNTO INCLUIDO BUTACAS.	VALORES OBTENIDOS		VALORES ÓPTIMOS	
S = m ²		69	16	229.92	165.07	55.9	99.76	99.76	622.99	24.37	^{100%} 150	150	A	seg	A	seg
128 Hz	a	0.09	0.14	0.11	0.01	0.14	0.41	0.32	0.1	0.01	0.3	0.3				
	S x a	6.21	2.24	25.29	1.65	7.83	40.9	31.92	62.3	0.34	45	45	268.68	1.66	350.98	1.27
256 Hz	a	0.09	0.35	0.14	0.01	0.35	0.5	0.46	0.11	0.01	0.32	0.35				
	S x a	6.21	5.6	32.19	1.65	19.57	49.88	45.89	68.53	0.34	48	52.5	330.36	1.35	368.38	1.21
512 Hz	a	0.08	0.55	0.37	0.02	0.55	0.65	0.66	0.1	0.02	0.27	0.42				
	S x a	5.52	8.8	85.07	3.3	30.75	64.84	65.84	62.3	0.69	40.5	63	430.7	1.03	405.22	1.1
1024 Hz	a	0.09	0.72	0.43	0.03	0.72	0.79	0.7	0.08	0.02	0.3	0.46				
	S x a	6.21	11.52	98.87	4.95	40.25	78.81	69.83	49.84	0.69	45	69	474.96	0.94	450.24	0.99
2048 Hz	a	0.1	0.7	0.27	0.04	0.7	0.77	0.69	0.08	0.02	0.33	0.48				
	S x a	6.9	11.02	62.08	6.6	39.13	76.82	68.83	49.84	0.69	49.5	72	443.58	1	450.24	0.99
4096 Hz	a	0.07	0.65	0.27	0.05	0.65	0.65	0.68	0.11	0.01	0.33	0.40				
	S x a	4.83	10.4	62.08	8.25	36.34	64.84	67.84	68.53	0.34	49.5	60	432.91	1.03	450.24	0.99

5.3.2. PARA LA PALABRA.

CLASE DE SUPERFICIE		ENTABLADO ESCENARIO	CORTINAS	ALFOMBRA	SUP. REFLECTANTE YESO	TEJÓN	PARED FONDO FIBRA MINERAL	IDEM. FIBRA DE VIDRIO	REVESTIMIENTO MADERA	PILARES, HORMIGÓN	FIBRA MINERAL	FIBRA VIDRIO		BUTALAS TAPIZADAS	MITAD PUBLICO INCLUIDO BUTALAS.	VALORES OBTENIDOS		VALORES ÓPTIMOS	
S = m ²		69	16	229.92	165.07	55.9	99.76	99.76	568.39	34.37	54.6	54.6		150	150	A	mej	A	mej
120 Hz	a	0.09	0.14	0.11	0.01	0.14	0.41	0.32	0.1	0.01	0.41	0.32		0.3	0.3				
	S x a	6.21	2.24	25.29	1.65	7.83	40.9	39.92	56.84	0.34	22.39	17.47		45	45	303.08	1.47	380.98	1.17
256 Hz	a	0.09	0.35	0.14	0.01	0.35	0.5	0.46	0.11	0.01	0.5	0.46		0.32	0.35				
	S x a	6.21	5.6	32.19	1.65	19.57	49.88	45.89	62.52	0.34	27.3	25.12		48	52.5	376.77	1.48	430.67	1.04
512 Hz	a	0.08	0.55	0.37	0.02	0.55	0.65	0.66	0.1	0.02	0.65	0.66		0.27	0.42				
	S x a	5.52	8.8	85.07	3.3	30.75	64.84	65.84	56.84	0.69	35.49	36.04		40.5	63	496.77	0.9	499.28	0.9
1024 Hz	a	0.09	0.72	0.43	0.03	0.72	0.79	0.70	0.08	0.02	0.79	0.70		0.3	0.46				
	S x a	6.21	11.62	98.87	4.95	40.25	78.81	69.83	45.47	0.69	43.13	38.22		45	69	551.94	0.81	550.3	0.81
2048 Hz	a	0.1	0.7	0.27	0.04	0.7	0.77	0.69	0.08	0.02	0.7	0.77		0.33	0.48				
	S x a	6.9	11.02	62.08	6.6	39.13	76.82	68.83	45.47	0.69	42.04	37.67		49.5	72	518.92	0.86	550.3	0.81
4096 Hz	a	0.07	0.65	0.27	0.05	0.65	0.65	0.68	0.11	0.01	0.65	0.68		0.33	0.40				
	S x a	4.83	10.4	62.08	8.25	36.34	64.84	67.84	62.52	0.34	35.49	37.13		40.5	60	499.52	0.89	550.3	0.81

5.4. COMPARACIÓN REVERBERACIÓN Y CURVA TONAL, OBTENIDAS Y ÓPTIMAS.

	TIEMPO OBTENIDO PARA LA PALABRA	TIEMPO ÓPTIMO PARA LA PALABRA	TIEMPO OBTENIDO PARA MUSICA DE CAMARA	TIEMPO ÓPTIMO PARA MUSICA DE CAMARA
	seg	seg	seg	seg
128 Hz	1.47	1.17	1.66	1.27
256 Hz	1.18	1.04	1.75	1.21
512 Hz	0.9	0.9	1.03	1.1
1024 Hz	0.81	0.81	0.94	0.99
2048 Hz	0.86	0.81	1	0.99
4096 Hz	0.89	0.81	1.03	0.99



BIBLIOGRAFÍA

- <1> B. CATTOI APUNTES DE ACÚSTICA Y ESCALAS EXÓTICAS. BUENOS AIRES
- <2> R. JOSSE . LA ACÚSTICA EN LA CONSTRUCCIÓN. BARCELONA, 1975
- <3> G.L. FUCHS. ACUSTICA DE TEATROS. BUENOS AIRES.
- <4> LILIANA ANDUAGA EVALUACIÓN ACUSTICA TEORICA. UNIV. CATOLICA DE CHILE. FAC. ARQUITECTURA.
- <5> PROF. LUIS BRAVO H. APUNTES CURSO DE ACUSTICA UNIV. DE VALPARAÍSO . FAC. ARQUITECTURA.
- <6> K. WEISSE ACUSTICA DE LOS LOCALES. BARCELONA, 1956.
- <7> M. MEISSER ACÚSTICA DE LOS EDIFICIOS.
- <8> J. PEREZ MIÑANA COMPENDIO PRACTICO DE ACÚSTICA. BARCELONA.